

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Н.П. Калиниченко, А.Н. Калиниченко

ВИЗУАЛЬНЫЙ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ

**Учебное пособие
для подготовки специалистов
I, II и III уровня**

*Рекомендовано в качестве учебного пособия
Редакционно-издательским советом
Томского политехнического университета*

Издательство
Томского политехнического университета
2009

УДК 6681.518.54

К17

Калиниченко Н.П.

К17 Визуальный и измерительный контроль: учебное пособие для подготовки специалистов I, II и III уровня / Н.П. Калиниченко, А.Н. Калиниченко; Томский политехнический университет. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. — 300 с.

ISBN 978-5-98298-709-9

Пособие содержит теоретический материал, соответствующий требованиям к техническим знаниям персонала, работающего в области неразрушающего контроля по визуальному и измерительному методу. Значительное место уделено материалу необходимому для сертификации специалистов III уровня квалификации.

Приведены требования к квалификационному экзамену специалиста III уровня по визуальному и измерительному методу контроля; сравнение требований и области применения нормативных документов при аттестации и переаттестации российских и зарубежных специалистов в области НК на I, II, III международных уровнях; типичные индикаторные вопросы, соответствующие уровню III, некоторые международные стандарты по визуальному и измерительному методу.

Пособие разработано в рамках реализации Инновационной образовательной программы ТПУ по направлению «Неразрушающий контроль» и предназначено для студентов специальностей 200100 «Физические методы и приборы контроля качества», 220501 «Управление качеством».

УДК 681.518.54

Рецензенты

Кандидат технических наук, директор компании «СМТ»

А.Б. Чигорко

Кандидат технических наук, директор ООО «СКАН-КОНТРОЛЬ»

Ф.М. Завъялкин

ISBN 978-5-98298-709-9

© ГОУ ВПО «Томский политехнический университет», 2009

© Калиниченко Н.П., Калиниченко А.Н., 2009

© Оформление. Издательство Томского политехнического университета, 2009

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
Глава 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОПТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ	7
1.1. Модели оптического излучения	11
1.2. Основные законы геометрической оптики	11
1.3. Энергетические и световые величины для описания ОИ	16
1.4. Основные понятия и определения	17
1.4.1. Интерференция света	17
1.4.2. Методы наблюдения интерференции света	20
1.4.3. Применение интерференции света	21
1.4.4. Дифракция света	24
1.4.5. Поляризация света	26
1.5. Световая система единиц	31
1.5.1. Световые величины	31
1.5.2. Фотометрические величины	32
1.6. Оптические и светотехнические характеристики объектов контроля	33
1.6.1. Светотехнические материалы	33
1.6.2. Взаимодействие света с веществом	37
1.6.3. Дисперсия света	38
1.6.4. Прохождение света через оптически неоднородную среду	40
1.7. Функции и параметры зрения	48
1.7.1. Иллюзии зрительного восприятия	48
1.8. Теоретические основы технических измерений	52
1.8.1. Терминология по размерам	52
1.8.2. Точность геометрических параметров	54
1.8.3. Методы исследования и оценки результатирующих погрешностей	56
1.8.4. Основные единицы СИ	61
1.8.5. Дополнительные единицы СИ	62
1.8.6. Производные единицы СИ	63
1.8.7. Кратные и дольные единицы	63
Контрольные вопросы	64
Глава 2. ИСТОЧНИКИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И СВЕТОВЫЕ ПРИБОРЫ И УСТАНОВКИ	68
2.1. Источники света	68
2.2. Тепловые источники света	70
2.3. Другие источники света	71

2.4. Светофильтры и ослабители света	77
2.5. Требования к освещению	78
Контрольные вопросы	80
Глава 3. ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ. ПРИЕМНЫЕ УСТРОЙСТВА.	
ОПТИЧЕСКИЕ ДЕФЕКТОСКОПЫ	81
3.1. Микроскопы	81
3.2. Приемные устройства	82
3.2.1. ПЗС-матрицы	83
3.2.2. Основные элементы пленочной (аналоговой) фотографии	86
3.3. Оптические дефектоскопы	92
3.3.1. Жесткие эндоскопы	94
3.3.2. Гибкие эндоскопы	95
3.3.3. Эндоскопические видеосистемы	98
3.4. Методы измерения геометрических элементов изображения и дефектов в оптических видеосистемах	99
3.4.1. Стереоскопический метод	102
3.4.2. Теневой метод	104
3.4.3. Метод сравнения	106
3.5. Измерительные микроскопы	106
3.5.1. Универсальный измерительный микроскоп УИМ	108
3.5.2. Измерительные микроскопы серии МС	109
3.6. Телескопы	110
3.7. Голографические методы контроля	112
3.7.1. Голографическое оборудование	113
3.7.2. Голографическая эндоскопия	120
Контрольные вопросы	122
Глава 4. ПРИБОРЫ И ИНСТРУМЕНТЫ	
ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ	125
4.1. Приборы для измерения больших линейных размеров изделий или отклонений от формы и расположения поверхностей изделия	125
4.2. Современные средства и методы измерения неровностей. Качественные методы контроля шероховатости поверхности	133
Контрольные вопросы	144
Глава 5. МЕТРОЛОГИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ	
И МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ	
СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ	146
5.1. Световые измерения	146
5.2. Измерение освещенности	147
Глава 6. ВИДЫ И ТИПЫ ДЕФЕКТОВ. ПРИЧИНЫ	
ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДЕФЕКТОВ СВАРКИ	153
6.1. Анализ разрушений в условиях эксплуатации	160
6.2. Элементы механики разрушения	164
Контрольные вопросы	168

Глава 7. АТТЕСТАЦИЯ СПЕЦИАЛИСТОВ III УРОВНЯ ПО ВИЗУАЛЬНОМУ И ИЗМЕРИТЕЛЬНОМУ КОНТРОЛЮ	172
7.1. Квалификационный экзамен специалиста по неразрушающему контролю III уровня	172
7.2. Оценка квалификационных экзаменов кандидатов на III уровень ..	174
7.3. Аттестация и перееаттестация российских и зарубежных специалистов в области неразрушающего контроля на I, II, III международных уровни	175
7.3.1. Сравнение требований и области применения нормативных документов SNT-TC-AM, EN 473, ПГР, ISO 9712, NORDTEST	175
7.3.2. Требования к компетентности аттестуемого персонала	180
7.3.3. Требования норм к аттестационным инстанциям	180
7.3.4. Требования к подготовке специалистов к экзаменам	181
7.3.5. Требования к квалификационному экзамену III уровень	183
7.3.6. Аттестация и срок ее действия	185
7.5. Требования к экзаменационным образцам, используемым для проведения практических экзаменов при аттестации специалистов по неразрушающему контролю в соответствии с требованиями ЕСР (European certification process)	188
Приложение 1. Вопросы на знание EN 473:2000	199
Приложение 2. Методические рекомендации для подготовки специалистов неразрушающего контроля III уровня в области материаловедения, технологии материалов и дефектов	205
Приложение 3. Сборник вопросов базового экзамена. Часть А	208
Приложение 4. Сборник вопросов базового экзамена. Часть Б	233
Приложение 5. Сборник вопросов общего экзамена по основному методу неразрушающего контроля	254
Приложение 6. Требования по минимальному количеству вопросов на экзаменах	267
Приложение 7. Структурная схема балльной оценки деятельности и специалиста III уровня квалификации при продлении срока действия удостоверения	269
Приложение 8. Международные и европейские стандарты в визуальном контроле	272
Приложение 9. Европейский стандарт EN 970	279
Приложение 10	288
Список литературы	298

ВВЕДЕНИЕ

Специалисты, работающие на опасных производственных объектах, осуществляющие неразрушающий контроль (НК) должны быть аттестованы в соответствии с «Правилами аттестации специалистов неразрушающего контроля» (ПБ 03-440-02).

Важнейшие национальные и международные нормы по аттестации персонала в области НК определяют квалификацию специалистов по пяти признакам: профессиональное обучение, практический опыт работы в области НК, физическая пригодность, прохождение курса обучения и сдача квалифицированного экзамена.

Приведенные теоретические материалы для подготовки и структурная схема квалификационного экзамена специалиста III уровня направлены на достижение определенного уровня знаний как для будущих, так и для специалистов I, II и III уровня квалификации по визуальному и измерительному методу контроля в достаточно сжатые сроки.

Контрольные вопросы, соответствующие уровню III, приведены в приложении с целью определения степени освоения материала.

Глава 1

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОПТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ

Оптические методы в неразрушающем контроле или просто оптический неразрушающий контроль (ОНК) – один из самых распространенных и мощных методов исследования свойств объектов контроля (ОК). В его основе лежит взаимодействие оптического излучения (ОИ) с ОК. ОНК позволяет в полной мере обеспечить:

- локальность, т. е. исследование малых участков ОК;
- высокую экспрессность, т. к. скорость получения информации ограничена только скоростью света в среде;
- неконтактность, поскольку световые пучки не оставляют следов в подавляющем большинстве ОК,
- многоканальную обработку информации одним устройством контроля, т. к. поток электромагнитных волн имеет несколько информационных параметров – интенсивность, степень когерентности, поляризацию;
- возможность автоматизации систем контроля.

Особенно важно, что ОНК позволяет представлять измерительную информацию наиболее удобным для человека образом, причем, во многих случаях – непосредственно (информацию можно просто увидеть!) и сразу после взаимодействия оптического излучения с ОК.

Дефекты, выявляемые ОНК, очень разнообразны. К ним относятся пустоты, расслоения, поры, трещины, включения инородных тел, внутренние напряжения, изменение структуры материалов и их физико-химических свойств, отклонения от заданной геометрической формы. Использование устройств, позволяющих преобразовывать внешние воздействия (теплота, электрическое и магнитное поля) в изменения оптических характеристики веществ, помогло еще больше расширить область применения ОНК. Типичным примером таких устройств являются оптоволоконные датчики.

Введение в системы ОНК в качестве источников света лазеров не только значительно повысило точность и разрешающую способность существующих методов контроля, но и привело к появлению целого набора новых. К ним относятся разнообразные применения голографии и использование резонансных эффектов взаимодействия света с веществом, в том числе нелинейных.

В таблице 1 приведены некоторые области применения ОНК и контролируемые характеристики ОК.

Таблица 1

Области применения ОНК и контролируемые характеристики ОК

Область применения	Контролируемые характеристики
Машиностроение	Геометрия и качество поверхности деталей и изделий, величина деформации и вибрации деталей, степень износа режущего инструмента, смещение и скорость перемещения узлов обрабатывающих станков и многое другое
Металлургия	Геометрия круглого проката (проволока, трубы и т. п.), качество поверхности листового проката, качество внутренней поверхности труб
Авиастроение	Геометрия лопастей винтов, качество внутренних поверхностей двигателей и фюзеляжа
Электронная промышленность	Характеристики полупроводниковых материалов, деформация печатных плат вследствие нагрева, геометрия фотошаблонов
Пищевая промышленность	Качество и состав продуктов

По своей сути ОНК – физический эксперимент, целью которого служит определение информационных параметров ОК, происходящее в процессе обработки информационных характеристик оптического сигнала. Поэтому, любое устройство или прибор ОНК – это оптическая информационная система (ОИС). Структурно-логическая схема ОИС приведена на рис. 1. Как видно из этой схемы, процесс работы ОИС выглядит следующим образом. Оптическое излучение, генерируемое источником света, взаимодействует с ОК. Возникший в результате этого взаимодействия оптический сигнал поступает в средство измерения. В средстве измерения на основании принятой физической модели и под влиянием внешних (по отношению к ОК) источников погрешностей формируются результаты наблюдений в виде непрерывного или дискретного сигнала (показаний прибора). Результаты наблюдений, в свою очередь, подвергаются процедуре оценивания, которая и позволяет получить резуль-

тат ОНК – сведения о состоянии и/или характеристиках ОК. При этом важную роль играет математическая модель измерения, позволяющая оценить погрешность и достоверность результата ОНК.

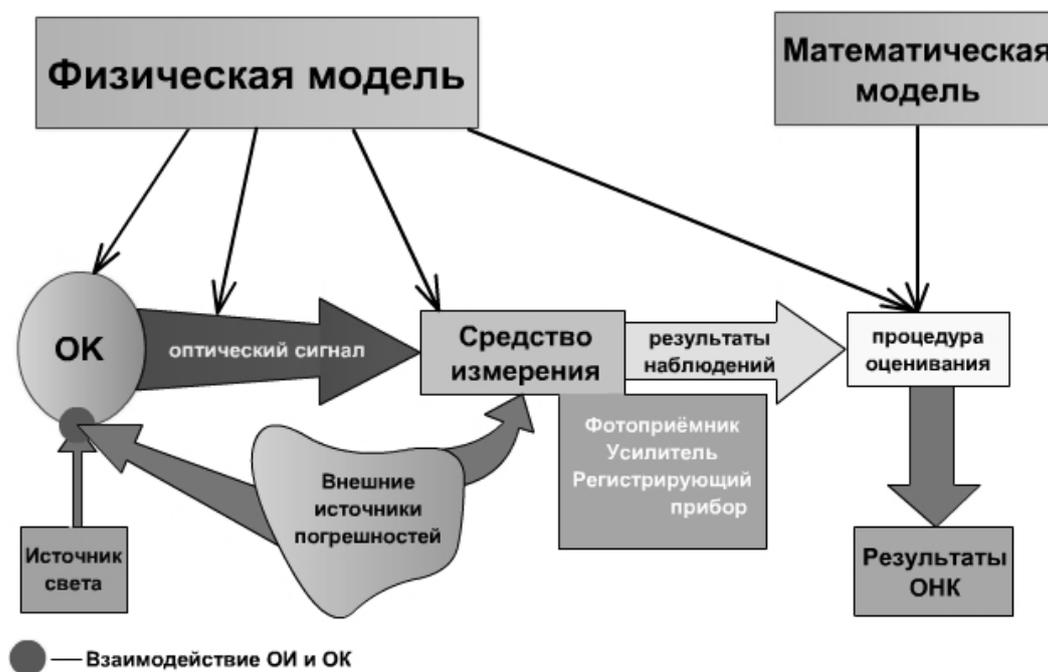


Рис. 1. Структурно-логическая схема оптической информационной системы (ОИС)

На основании структурно-логической схемы ОИС можно произвести классификацию методов ОНК. Возможны четыре способа такой классификации:

- 1) по виду контролируемого параметра ОК;
- 2) физической модели взаимодействия ОИ и ОК;
- 3) процедуре оценивания;
- 4) принципу действия средств измерений.

В практике ОНК наиболее употребим первый тип классификации, при котором отдельно рассматривают ОИС для определения длины ОК, его скорости, дефектоскопы, измерители давления, температуры и т. п. Однако для лучшего понимания возможностей основных типов ОИС и областей их применений значительно больше подходит четвертый вариант классификации ОИС.

Итак, по принципу действия средств измерений ОИС ОНК можно подразделить на такие основные типы:

- **визуально-фотометрические ОИС** – средство измерения содержит оптическую систему, состоящую из набора линз, фотоприемник

(глаз или фотоэлемент), оценивание результатов наблюдений производит сам наблюдатель. С помощью таких ОИС (микроскоп, телескоп, фотоаппарат) можно определить, главным образом, форму и размеры ОК, а основной физической моделью, которую используют для их описания, является геометрическая оптика;

- **интерференционные ОИС** – средство измерения содержит интерферометр. Такие ОИС производят определение пространственного распределения амплитуды, фазы и степени когерентности оптического сигнала, а в основе процедуры оценивания лежит скалярная волновая теория света. При этом контроль, как правило, производится на фиксированной частоте, что достигается или за счет монохроматичности источника ОИ, или путем выделения монохроматической составляющей оптического сигнала в средстве измерения. Интерферометрические ОИС обладают высокой разрешающей способностью и используются для высокоточных измерений линейных размеров ОК или его частей, скоростей движения ОК;
- **поляризационные ОИС** – средство измерения содержит поляриметр, в качестве основного информационного параметра оптического сигнала используется степень его поляризации. Разновидность поляризационных ОИС – эллипсометры используются для высокоточных измерений состава и толщины тонких пленок на поверхности ОК;
- **спектральные ОИС** – средство измерения содержит спектроанализатор, т. е. устройство способное пространственно разделять световые волны разных частот (призма, дифракционная решетка), и соответствующую оптическую систему. Применяются для изучения химического состава ОК.

Для определения результата ОНК в последних двух типах систем обычно достаточно электромагнитной теории света, однако для понимания процесса возникновения спектров поглощения тел необходимо привлекать квантовые представления.

Применение лазеров в ОИС позволило расширить набор традиционно используемых видов ОИС. В частности, сегодня можно говорить о промышленном применении дифракционных методов ОНК, когерентно-оптических и голографических ОИС.

Основное внимание будет уделено только наиболее часто применяемым ОИС, в особенности тем, которые вошли в инженерно-техническую практику в последние годы.

1.1. Модели оптического излучения

Носителем диагностической информации в ОИС является оптическое излучение (ОИ). В широком смысле слова ОИ – это электромагнитное излучение с длинами волн λ , лежащими в диапазоне от 10^{-5} до 10^3 мкм. В ОИ принято выделять три области спектра:

1. 10^{-3} мкм $\leq \lambda < 0,38$ мкм – ультрафиолетовое излучение (УФ)
2. $0,38$ мкм $\leq \lambda \leq 0,78$ мкм – видимое излучение (свет воспринимаемый глазом)
3. $0,78$ мкм $\leq \lambda < 10^3$ мкм – инфракрасное излучение (ИК)

ИК и УФ излучения в системах ОНК используются сравнительно редко. Наиболее типичным примером здесь может служить интроскопия.

Интроскопы (в дословном переводе – «заглядывающие внутрь») – приборы, предназначенные для визуализации внутренней структуры объектов, непрозрачных в видимой области спектра, но прозрачных в УФ или ИК областях спектра. По сути, это ИК или УФ телевизионные микроскопы, проекторы или полярископы. Большая часть интроскопов работает в ИК области спектра. Типичная области применения – производство многокомпонентных материалов, в том числе полупроводниковая промышленность.

Для описания возникновения ОИ, его распространения в пространстве и взаимодействия с веществом используются три основные физические модели:

- геометрическая оптика;
- физическая оптика, которая состоит из скалярной волновой оптики и электромагнитной теории света;
- квантовая оптика.

В геометрической оптике свет рассматривается как поток бесконечно большого числа световых лучей, причем каждый луч – это чисто геометрический объект, т. е. линия, вдоль которой распространяется свет. Геометрическая оптика позволяет объяснить простейшие оптические явления, например, возникновение теней и получение изображений в оптических приборах и базируется на четырех опытных физических законах.

1.2. Основные законы геометрической оптики

- Закон прямолинейного распространения света – в прозрачной однородной среде свет распространяется по прямым линиям.

- Закон независимости хода световых пучков — распространение всякого светового пучка в среде не зависит от того, есть ли в ней другие световые пучки.
- Закон отражения света — падающий и отраженный лучи лежат в одной плоскости с нормалью к границе раздела сред, причем угол падения i равен углу отражения i' .
- Закон преломления света — преломленный луч лежит в плоскости падения, причем для углов падения i и преломления r справедливо равенство

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n_{21},$$

где n_{21} — относительный показатель преломления второй среды относительно первой. Закон преломления был экспериментально установлен голландским ученым В. Снеллиусом (1621 г.).

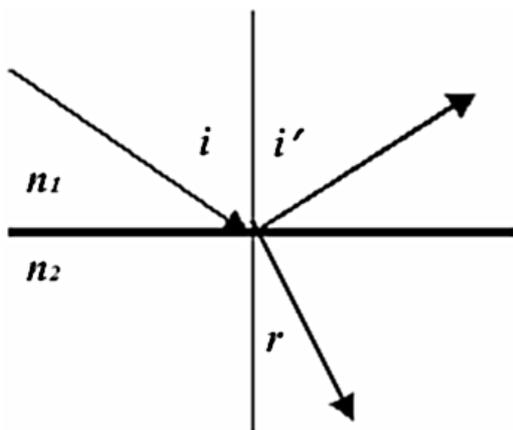


Рис. 2. Преломление и отражение

Если ввести абсолютный показатель преломления n среды (относительно вакуума), то

$$n_{21} = n_2/n_1.$$

В случае, когда $n_{21} < 1$ (т. е. вторая среда оптически более плотная, чем первая), существует такой угол падения $i_{\text{пр}}$, для которого $r = \pi/2$. Тогда преломленный луч не возникает, а свет отражается полностью. Это явление полного (внутреннего) отражения, которое возникает при $i \geq i_{\text{пр}}$. Для предельного угла $i_{\text{пр}}$ имеет место условие

$$\sin i_{\text{пр}} = n_2/n_1.$$

Рассмотрим три ситуации соприкосновения таких сред: воздуха и воды, воздуха и стекла, воды и стекла.

Представьте стеклянный параллелепипед, изнутри которого на одну из его граней падает луч света. При прохождении границы с воздухом луч преломляется и, поскольку коэффициент преломления света в воздухе (около 1) ниже, чем в стекле (около 1,5), луч отклоняется от перпендикуляра (нормали). По закону Снеллиуса, если луч падает на поверхность под углом, например, 30° , по ту сторону границы он выйдет под более тупым углом к нормали (около 49°). По мере увеличения отклонения угла

падения от нормали угол преломления будет увеличиваться опережающими темпами, пока, наконец, при угле падения примерно в 42° расчетный угол преломления не станет равен 90° к перпендикуляру — то есть, попав на поверхность, луч в этом случае не пройдет сквозь нее, а преломится строго вдоль границы между стеклом и воздухом.

$$\sin \theta > n_2/n_1.$$

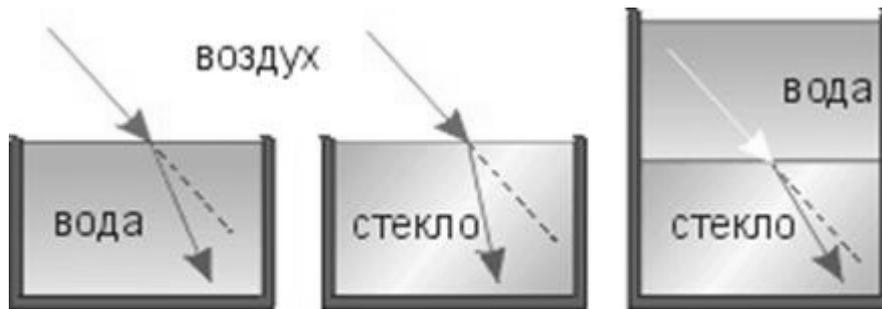


Рис. 3. Преломление на границе раздела разных сред

При значениях θ больше критического угла луч света изнутри стекла больше не проникает в воздух, а отражается обратно внутрь стекла, как от зеркала.

Явление полного внутреннего отражения лежит в основе ряда измерительных приборов, например, рефрактометров, на нем основан принцип действия оптических волокон, составляющих элементную базу многих современных систем ОНК.

Однако полное внутреннее отражение — это не просто любопытный фокус, а основа для целого ряда важных современных технологий; прежде всего — этот эффект лежит в основе оптоволоконной связи. Свет, поступая с одного конца в тончайшее стекловолокно под очень большим углом, в дальнейшем вынужден распространяться вдоль этого волокна, не покидая его пределов, раз за разом отражаясь от его стенок, поскольку угол его падения не достаточен, чтобы вырваться за его пределы, благодаря чему на противоположном конце выход оптического сигнала практически не теряет в интенсивности. Если связать множество таких оптических волокон в пучок, чередование импульсов света и затемненных промежутков на выходе из такого оптоволоконного кабеля будет строго соответствовать сигналу, поступившему в него на входе.

В основе электромагнитной теории света лежит представление о свете как о потоке электромагнитных волн, т. е. возмущений электромагнитного поля.

В электромагнитной волне синфазно и во взаимно перпендикулярных направлениях колеблются векторы напряженности электрического поля \vec{E} (световой вектор) и напряженности магнитного поля \vec{H} . Эти векторы в каждой точке перпендикулярны направлению распространения волны, следовательно, электромагнитные волны поперечны. Именно поперечность электромагнитных волн приводит к наличию у ОИ такого свойства, как поляризация.

Электромагнитные волны распространяются в однородном и изотропном веществе со скоростью

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}},$$

где $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость света в вакууме, ϵ и μ – диэлектрическая и магнитная проницаемость вещества. Так как показатель преломления $n = \sqrt{\epsilon\mu}$, то скорость волны в веществе равна $v = c/n$. Для прозрачных сред $\mu \approx 1$ и $n \approx \sqrt{\epsilon}$.

Полный расчет электромагнитного поля требует знания распределения в пространстве и времени его источников – электрических токов с плотностью \vec{j} и свободных электрических зарядов с объемной плотностью ρ , а также электродинамических параметров среды: ϵ , μ и σ – удельной электропроводимости вещества. Тогда, решая систему уравнений Максвелла

$$\text{rot}\vec{E} = -\frac{\partial\vec{B}}{\partial t}; \text{rot}\vec{B} = \vec{j} - \frac{\partial\vec{D}}{\partial t}; \text{div}\vec{D} = \rho; \text{div}\vec{B} = 0;$$

и, используя материальные уравнения

$$\vec{D} = \epsilon\epsilon_0\vec{E}, \vec{B} = \mu\mu_0\vec{H}, \vec{j} = \sigma\vec{E},$$

можно найти \vec{E} , \vec{D} , \vec{B} , \vec{H} – локальные основные характеристики электромагнитного поля. Здесь \vec{D} – электрическое смещение; \vec{B} – магнитная индукция.

Основные характеристики ОИ в этой теории: напряженность электрического поля \vec{E} (световой вектор), фаза волны $j(t)$, где t – время; l – длина волны. Для монохроматических волн фаза волны $\varphi(t) = \omega t + \varphi_0$, где ω – частота волны; φ_0 – начальная фаза. Длина волны $\lambda = vT$, где v – скорость волны, определяемая средой в которой распространяется волна; $T = 2\pi/\omega$ – период колебаний.

Совместное решение основных уравнений электродинамики представляет серьёзные математические трудности и, поэтому, во многих практически интересных случаях используют упрощенную модель

ОИ, представляя его в виде скалярных продольных волн. В рамках этой скалярной оптики можно достаточно точно описать основные волновые явления (интерференция, дифракция и т. д.) за исключением поляризационных эффектов.

Скалярная оптика базируется на принципе Гюйгенса—Френеля и его математической интерпретации данной Кирхгофом. Принцип Гюйгенса гласит, что любая точка S пространства, до которой дошла световая волна служит источником вторичных сферических когерентных волн

$$\xi_S(\vec{r}, t) = \frac{1}{r} e^{i(\omega t + \phi_0)},$$

где \vec{r} — радиус-вектор, проведенный из точки S фронта волны в точку наблюдения P (рис. 4); \vec{k} — волновой вектор; E_0 — амплитуда светового

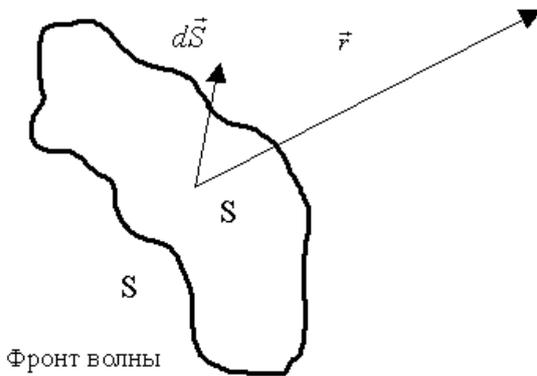


Рис. 4

вектора на площадке dS , расположенной в точке S . Согласно Френелю и Кирхгофу колебание, вызванное световой волной в точке наблюдения P есть сумма (скалярная!) колебаний, вызванных всеми вторичными волнами

$$\xi_P(\vec{r}, t) = \int_{S_0} \xi(\vec{r}, t) f(\alpha) d\vec{S}.$$

В этой формуле $d\vec{S}$ — вектор площадки поверхности фронта волны, которая дает вклад в колебание в точке P ; $f(\alpha)$ — множитель, зависящий от угла α между $d\vec{S}$ и \vec{r} . При $r \gg \lambda$ имеет место равенство

колебание в точке P ; $f(\alpha)$ — множитель, зависящий от угла α между $d\vec{S}$ и \vec{r} . При $r \gg \lambda$ имеет место равенство

$$f(\alpha) = \frac{1}{4\pi} (ikE_0 \cos \alpha - \frac{dE_0}{dn}).$$

Применение скалярной оптики допустимо, если $\lambda \ll l_{\text{хар}}$, где $l_{\text{хар}}$ — характерные размеры задачи, что на практике, вследствие малости длин волн света, почти всегда справедливо. Геометрические лучи в волновой теории интерпретируются как линии, касательные к которым в каждой точке совпадают с волновым вектором \vec{k} .

Квантовая теория рассматривает свет как поток фотонов — квантов электромагнитного поля. Необходимость применения квантовой оптики возникает всегда, когда рассматриваются процессы излучения и поглощения ОИ атомами вещества.

Фотон — квант электромагнитного поля — обладает энергией $\varepsilon = \hbar\omega$ и импульсом $\vec{p} = \hbar\vec{k}$, где $\hbar = 1,05 \cdot 10^{-34}$ Дж·с — постоянная Планка—Дирака. Только в рамках квантовых представлений находят полное объяснение такие часто встречающиеся в практике ОНК явления как рассеяние, поглощение и дисперсия света. Ряд методов ОНК, связанных с нелинейными оптическими явлениями, фотопроводимостью, акустооптическими эффектами и т. д., требуют для своего объяснения и обоснования привлечения квантовых представлений. В современных системах ОНК широко используются лазеры, принцип действия которых также нельзя понять без квантовой теории света. Наконец, само возникновение ОИ связано с движением электрически заряженных частиц (электроны, атомы, ионы, молекулы). Дискретные переходы носителей зарядов с более высоких на более низкие уровни энергии сопровождаются испусканием фотона с энергией, равной разности энергий этих уровней W_1 и W_2 :

$$W_1 - W_2 = \hbar\omega.$$

Это объясняет разнообразный спектральный состав излученного ОИ и спектров поглощения веществ, что обосновывает один из мощных методов ОНК — спектральный.

1.3. Энергетические и световые величины для описания ОИ

Для описания ОИ используется большое количество физических величин, которые можно разбить на три группы:

- энергетические величины (содержат нижний индекс «e» в обозначении);
- световые или фотометрические (индекс «v» в обозначении);
- фотонные (индекс «p» в обозначении).

Энергетические и фотонные величины можно использовать для описания любого ОИ, в то время как световые — только в видимой области спектра. Это связано с тем, что последние вводятся на основании зрительного ощущения человеческого глаза с учетом его спектральной чувствительности. Переход от энергетической величины X_e к соответствующей ей световой — X_v осуществляется по формуле

$$X_v = K_m \int V(\lambda) X_{e\lambda} d\lambda,$$

где $K_m = 683$ лм/Вт — максимальная спектральная световая эффективность (соответствует монохроматическому излучению на частоте

$540 \cdot 10^{12}$ Гц или $\lambda \approx 0,55$ мкм), $V(\lambda)$ – относительная спектральная световая эффективность (значения этой функции стандартизованы), $X_{e,\lambda}$ – спектральная плотность величины X_e ($X_{e,\lambda} = dX_e/d\lambda$)

Энергетические и световые величины, наиболее часто применяемые для описания ОИ, и их единицы в СИ (Международной системе единиц) приведены в табл. 2. Соответствующие фотонные величины и единицы не указаны т. к. они редко используются в ОНК.

Таблица 2

Энергетические и световые величины для описания ОИ

Энергетические величины			Световые величины		
Название	Определение	Единица	Название	Определение	Единица
Мощность излучения, поток энергии излучения	Φ_e, P	Вт	Световой поток	$\Phi_v = \int I_v d\Omega$	1 лм = ср (люмен)
Энергетическая сила излучения	$I_e = \frac{d\Phi_e}{d\Omega}$	Вт/ср	Сила света	I_v	кд (кандела)
Энергетическая яркость	$L_e = \frac{dI_e}{dS}$	Вт/ср·м ²	Яркость	$L_v = \frac{dI_v}{dS}$	кд/м ²
Энергетическая светимость	$M_e = \frac{d\Phi_e}{dS}$	Вт/м ²	Светимость	$M_v = \frac{d\Phi_v}{dS}$	лм/м ²
Энергетическая освещенность, облученность	$E_e = \frac{d\Phi_e}{dS}$	Вт/м ²	Освещенность	$E_v = \frac{d\Phi_v}{dS}$	1 лк = 1 лм/м ² (люкс)
–	–	–	Световая эффективность	$K = \frac{\Phi_v}{\Phi_e}$	

1.4. Основные понятия и определения

1.4.1. Интерференция света

Интерференция – одно из ярких проявлений волновой природы света. Это интересное и красивое явление наблюдается при определенных условиях при наложении двух или нескольких световых пучков.

Интенсивность света в области перекрытия пучков имеет характер чередующихся светлых и темных полос, причем в максимумах интенсивность больше, а в минимумах меньше суммы интенсивностей пучков. При использовании белого света интерференционные полосы оказываются окрашенными в различные цвета спектра. С интерференционными явлениями мы сталкиваемся довольно часто: цвета масляных пятен на асфальте, окраска замерзающих оконных стекол, причудливые цветные рисунки на крыльях некоторых бабочек и жуков — все это проявление интерференции света.

Первый эксперимент по наблюдению интерференции света в лабораторных условиях принадлежит И. Ньютону. Он наблюдал интерференционную картину, возникающую при отражении света в тонкой воздушной прослойке между плоской стеклянной пластиной и плоско-выпуклой линзой большого радиуса кривизны (рис. 5). Интерференционная картина имела вид концентрических колец, получивших название колец Ньютона.

Исторически первым интерференционным опытом, получившим объяснение на основе волновой теории света, явился опыт Юнга (1802 г.). В нем свет от источника, в качестве которого служила узкая щель S , падал на экран с двумя близко расположенными щелями S_1 и S_2 (рис. 6). Проходя через каждую из щелей, световой пучок уширялся вследствие дифракции, поэтому на белом экране \mathcal{E} световые пучки, прошедшие через щели S_1 и S_2 , перекрывались. В области перекрытия световых пучков наблюдалась интерференционная картина в виде чередующихся светлых и темных полос.

Юнг был первым, кто понял, что нельзя наблюдать интерференцию при сложении волн от двух независимых источников. Поэтому в его опыте щели S_1 и S_2 , которые можно рассматривать в соответствии с принципом Гюйгенса как источники вторичных волн, освещались

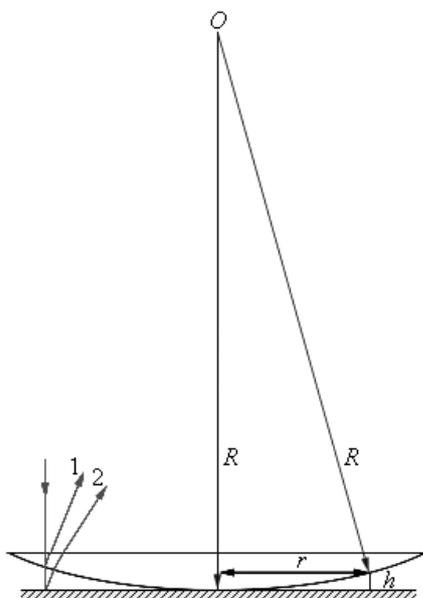


Рис. 5. Наблюдение колец Ньютона.

Интерференция возникает при сложении волн, отразившихся от двух сторон воздушной прослойки.

«Лучи» 1 и 2 — направления распространения волн; h — толщина воздушного зазора

светом одного источника S . При симметричном расположении щелей вторичные волны, испускаемые источниками S_1 и S_2 , находятся в фазе, но эти волны проходят до точки наблюдения P разные расстояния r_1 и r_2 . Следовательно, фазы колебаний, создаваемых волнами от источников S_1 и S_2 в точке P , вообще говоря, различны. Таким образом, задача об интерференции волн сводится к задаче о сложении колебаний одной и той же частоты, но с разными фазами. Утверждение о том, что волны от источников S_1 и S_2 распространяются независимо друг от друга, а в точке наблюдения они просто складываются, является опытным фактом и носит название принципа суперпозиции.

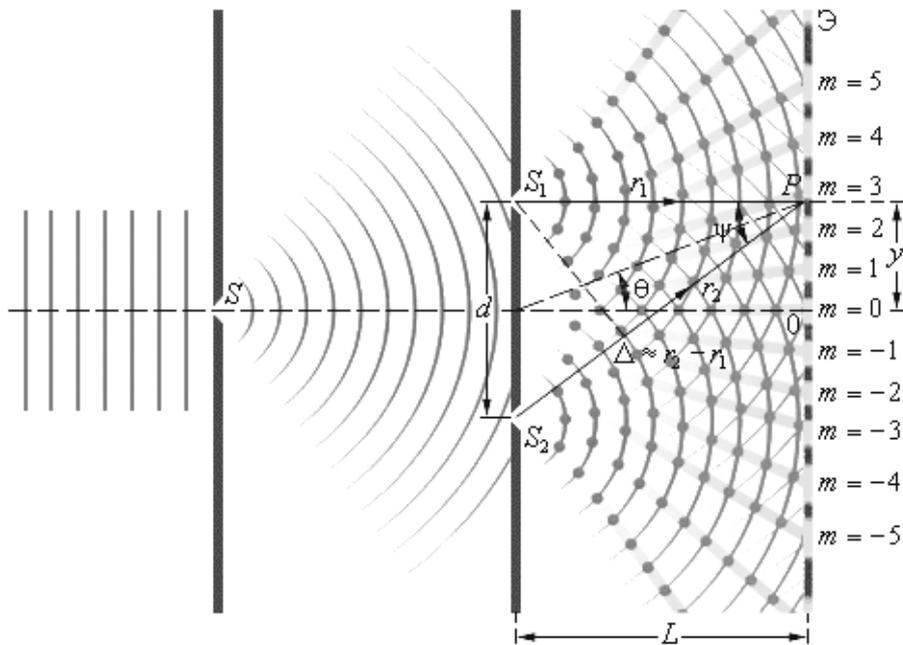


Рис. 6. Схема интерференционного опыта Юнга

Интерференция волн — явление усиления или ослабления амплитуды результирующей волны в зависимости от соотношения между фазами складывающихся в пространстве двух (или нескольких) волн с одинаковыми периодами.

Интерференция света — сложение световых волн, при котором обычно наблюдается характерное пространственное распределение интенсивности света (интерференционная картина) в виде чередующихся светлых и темных полос вследствие нарушения принципа сложения интенсивностей.

Для интерференции света необходима когерентность световых пучков.

Когерентные волны — волны одной частоты, колебания в которых отличаются постоянной разностью фаз. Излучение двух различных

источников оптического диапазона некогерентны и интерференционной картины не дают. Поэтому для получения интерференции света необходимы особые приемы. Так, в большинстве интерференционных устройств интерферирующие пучки получают расщеплением одного первоначального узкого пучка.

Интерференционные явления описываются формулами, которые связывают между собой расстояние (толщины), углы, длину волны и показатель преломления. Интерференционные испытания позволяют определять одну из этих величин по остальным. Используя это явление, можно проверить качество изделий (например, совпадение поверхности изделия с заданным шаблоном по интерференционной картине в тонком слое-зазоре между изделием и шаблоном).

1.4.2. Методы наблюдения интерференции света

Для осуществления интерференции света необходимо получить когерентные световые пучки, для чего применяются различные приемы. До появления лазеров, дающих «естественно-когерентное» и очень мощное излучение, во всех приборах для наблюдения интерференции света когерентные пучки получали разделением и последующим сведением световых лучей, исходящих из одного и того же источника. Практически это можно осуществить с помощью экранов и щелей, зеркал и преломляющих призм.

1. Метод Юнга

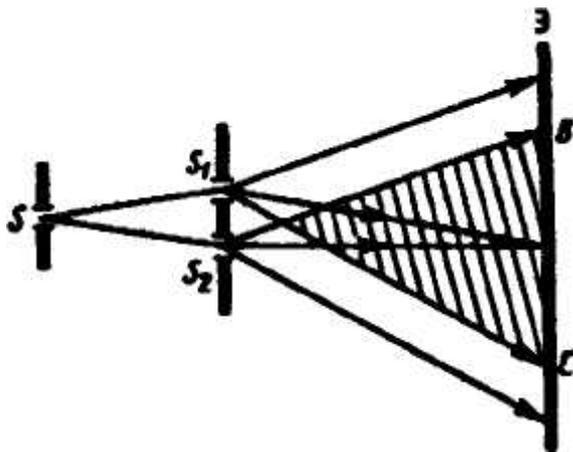


Рис. 7. Схема опыта Юнга

Источником света служит ярко освещенная щель S (рис. 7), от которой световая волна падает на две узкие равноудаленные щели S_1 и S_2 , параллельные щели — источнику S . Таким образом, щели S_1 и S_2 играют роль когерентных источников.

Интерференционная картина (область BC) наблюдается на экране (\mathcal{E}), расположенном на некотором расстоянии параллельно S_1 и S_2 .

Как уже указывалось, Т. Юнгу принадлежит первое наблюдение явления интерференции.

2. Зеркало Френеля

Зеркало Френеля представлено на рис. 8.

3. Бипризма Френеля

Состоит из двух одинаковых, сложенных основаниями призм с малыми преломляющими углами. Свет от источника S (рис. 9) преломляется в обеих призмах, в результате чего за бипризмой распространяются световые лучи, как бы исходящие из мнимых источников S_1 и S_2 , являющихся когерентными. Таким образом, на поверхности экрана (в заштрихованной области) происходит наложение когерентных пучков и наблюдается интерференция.

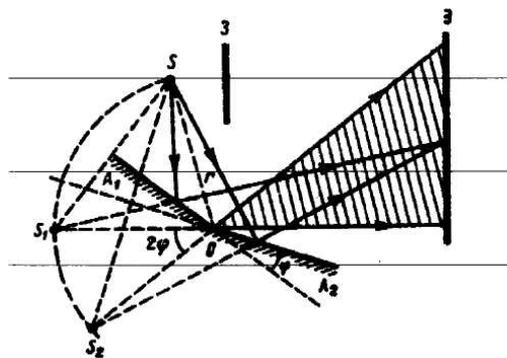


Рис. 8. Зеркало Френеля

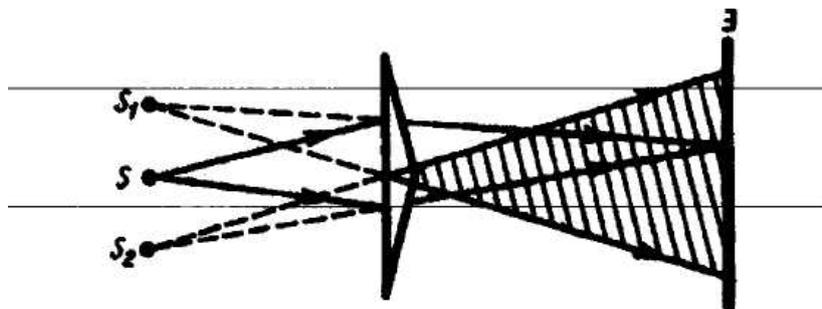


Рис. 9. Бипризма Френеля

1.4.3. Применение интерференции света

Явление интерференции обусловлено волновой природой света; его количественные закономерности зависят от длины волны. Поэтому это явление применяется для подтверждения волновой природы света и для измерения длин волн (интерференционная спектроскопия).

Явление интерференции применяется также для улучшения качества оптических приборов (просветление оптики) и получения высокоотражающих покрытий. Прохождение света через каждую преломляющую поверхность линзы, например через границу стекло–воздух, сопровождается отражением — 4 % падающего потока (при показателе преломления стекла $n = 1,5$). Так как современные объективы содержат большое количество линз, то число отражений в них велико, а поэтому велики и потери светового потока. Таким образом, интенсивность про-

шедшего света ослабляется и светосила оптического прибора уменьшается. Кроме того, отражения от поверхностей линз приводят к возникновению бликов, что часто (например, в военной технике) демаскирует положение прибора.

Для устранения указанных недостатков осуществляют так называемое просветление оптики. Для этого на свободные поверхности линз или наносят тонкие пленки с показателем преломления, меньшим, чем у материала линзы или поверхность стекла обрабатывают реактивами, изменяющими величину показателя преломления. При отражении света от границ раздела воздух–пленка и пленка–стекло возникает интерференция когерентных лучей.

Толщину пленки и показатели преломления стекла и пленки можно подобрать так, чтобы волны, отраженные от обеих поверхностей пленки, гасили друг друга. В результате интерференции наблюдается гашение отраженных лучей. Так как добиться одновременного гашения для всех длин волн невозможно, то это обычно делается для наиболее восприимчивой глазом «зеленой» длины волны — 0,55 мкм. Поэтому объективы с просветленной оптикой имеют синевато-красный оттенок.

Интерферометры — очень чувствительные оптические приборы, позволяющие определять незначительные изменения показателя преломления прозрачных тел (газов, жидких и твердых тел) в зависимости от давления, температуры, примесей и т. д.

Использование интерферометров очень многообразно. Они применяются для определения величины показателя преломления новых материалов, если толщина пленки известна, или для измерения толщины пленки с известной величиной показателя преломления. Ошибка измерения при этом может не превышать $\sim 10^{-7}$ м. Интерферометры применяются также для изучения качества изготовления оптических деталей, измерения углов, исследования быстропротекающих процессов, происходящих в воздухе, обтекающем летательные аппараты, и т. д. Применяя интерферометр, Майкельсон впервые провел сравнение международного эталона метра с длиной стандартной световой волны. С помощью интерферометров исследовалось также распространение света в движущихся телах, что привело к фундаментальным изменениям представлений о пространстве и времени.

Интерферометры применяют при различных измерениях, когда требуется высокая точность, в частности, для измерения и контроля формы и чистоты обработки поверхностей. На рис. 10 показана интерференционная картина в воздушном промежутке между поверхностями-

ми P_1 и P_2 двух стеклянных пластин при освещении их параллельным пучком лучей. Если толщина воздушного промежутка различна в разных точках поверхности, то на последней будут видны светлые и темные интерференционные полосы, каждая из которых является геометрическим местом точек одинаковой толщины. Их так и называют полосами одинаковой толщины. Шириной полосы b называется расстояние между серединами темных (точки A и B) или светлых полос.

Разность хода от одной полосы к другой изменяется на λ , а толщина промежутка – на $\lambda/2$. Отсюда $b = \lambda/2\alpha$.

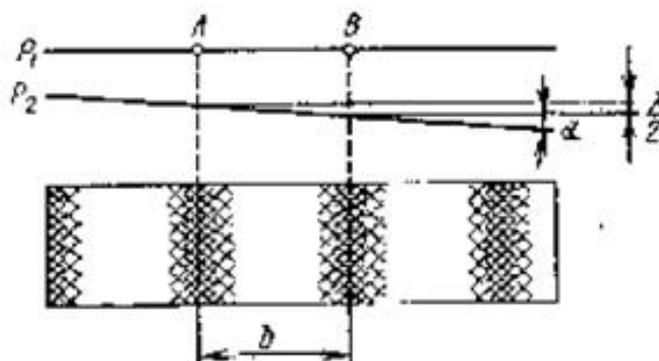


Рис. 10. Интерференция в клине

Формула показывает высокую чувствительность интерференционного метода при измерении малых углов. Например, полоса шириной $b = 1$ мм при $\lambda = 0,6$ мкм наблюдается в клине с $\alpha = 1'$, а шириной $b = 10$ мм в клине с $\alpha = 6''$.

Интерференция в воздушном слое между двумя пластинами применяется при измерении линейных перемещений и при контроле качества формы поверхности P_2 с помощью эталонной поверхности P_1 . Так, изменение расстояния между поверхностями на величину $\lambda/2$ вызовет смещение интерференционной картины на одну полосу.

Интерференционные полосы, получаемые в результате изменения угла падения лучей на пластину при постоянной ее толщине называют полосами равного наклона. Полосы равного наклона чаще наблюдают при нормальном падении сходящегося пучка лучей. При этом полосы переходят в кольца. Однако кольца равного наклона в измерительных приборах применяют редко из-за сложности визуальной регистрации картины.

1.4.4. Дифракция света

Дифракцией света называется явление отклонения света от прямолинейного направления распространения при прохождении вблизи препятствий. Как показывает опыт, свет при определенных условиях может заходить в область геометрической тени. Если на пути параллельного светового пучка расположено круглое препятствие (круглый диск, шарик или круглое отверстие в непрозрачном экране), то на экране, расположенном на достаточно большом расстоянии от препятствия, появляется дифракционная картина — система чередующихся светлых и темных колец. Если препятствие имеет линейный характер (щель, нить, край экрана), то на экране возникает система параллельных дифракционных полос.

Дифракция света — явление, наблюдающееся при распространении света мимо резких краев непрозрачных или прозрачных тел; сквозь узкие отверстия; в среде с резкими неоднородностями и связанными с нарушениями прямолинейности распространения света, т. е. с отклонениями от законов геометрической оптики. Дифракция свойственна всякому волновому движению, поэтому открытие или объяснение дифракции света явились одним из основных доказательств волновой природы света.

Дифракция света существенно влияет на рассеяние света в мутных средах и определяет предел разрешающей способности оптических приборов, например, микроскопов.

Метод зон Френеля успешно применяется при решении многих практических задач дифракции. Среди всего многообразия явлений дифракции сферических волн представляет интерес следующий случай.

Свет от точечного источника S , проходя через круглое отверстие на непрозрачном экране \mathcal{E}_1 , распространяется в направлении SB (рис. 11).

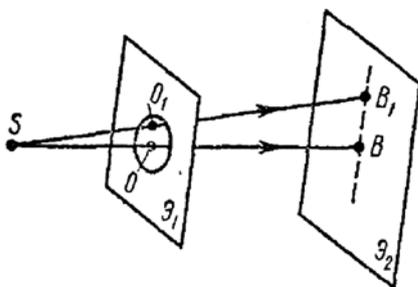


Рис. 11. Дифракция света на круглом отверстии

Рассмотрим результирующую картину на экране \mathcal{E}_2 . Вспомогательную поверхность выберем так, чтобы она совпала с поверхностью экрана \mathcal{E}_1 , а в области отверстия — с фронтом волны. Для определения результирующей интенсивности в точке B разобьем фронт волны на зоны Френеля. В зависимости от размера отверстия и длины волны при данном

взаимном расположении источника, отверстия и экрана \mathcal{E}_2 число действующих в точке B зон Френеля будет определенным — четным и нечетным. Если число действующих зон нечетное, то в точке B будет наблюдаться максимум, если четное — то минимум. Максимальная интенсивность наблюдается в случае, когда в отверстии укладывается одна зона, а минимальная — когда две зоны Френеля. Чтобы найти результирующую интенсивность в другой точке экрана \mathcal{E}_2 , например в точке B_1 необходимо разбить фронт волны на зоны Френеля с центром в точке O_1 , находящейся на прямой SB_1 . В этом случае часть зон Френеля будет закрыта непрозрачным экраном \mathcal{E}_1 , и интенсивность в точке B_1 будет определяться не только числом зон Френеля, укладываемых в отверсти-

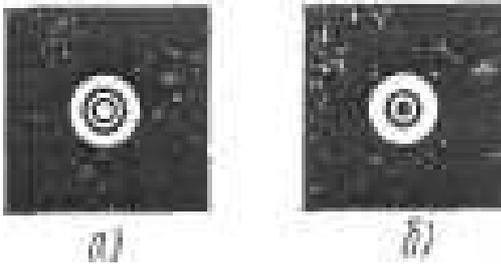


Рис. 12. Картины дифракции.

Отверстие открывает:

а — нечетное число зон;

б — четное число зон

сти, но степень частичного перекрытия зон Френеля. Поэтому по мере удаления от центра экрана \mathcal{E}_2 интенсивность максимумов будет падать. Исходя из соображений симметрии, можно предположить, что дифракционная картина в данном случае будет иметь вид чередующихся concentрических максимумов с центром в точке B . Соответствующие картины дифракции представлены на рис. 12.

Задача 1. На диафрагму с круглым отверстием радиусом $r = 1$ мм падает нормально параллельный пучок света длиной волны $\lambda = 0,05$ мкм. На пути лучей, прошедших через отверстие, помещают экран. Определить максимальное расстояние b_{\max} от центра отверстия до экрана, при котором в центре дифракционной картины еще будет наблюдаться темное пятно.

Задача 2. На щель шириной $a = 0,1$ мм нормально падает параллельный пучок света от монохроматического источника ($\lambda = 0,6$ мкм). Определить ширину l центрального максимума в дифракционной картине, проецируемой с помощью линзы, находящейся непосредственно за щелью, на экран, отстоящий от линзы на расстоянии $L = 1$ м.

Задача 3. На дифракционную решетку нормально к ее поверхности падает параллельный пучок света с длиной волны $\lambda = 0,5$ мкм. Помещенная вблизи решетки линза проецирует дифракционную картину на плоский экран, удаленный от линзы на $L = 1$ м. Расстояние l между двумя максимумами интенсивности первого порядка, наблюдаемыми на экране, равно 20,2 см. Определить: 1) постоянную d дифракционной решетки;

2) число n штрихов на 1 см; 3) число максимумов, которое при этом дает дифракционная решетка; 4) максимальный угол φ_{\max} отклонения лучей, соответствующих последнему дифракционному максимуму.

1.4.5. Поляризация света

Явления интерференции и дифракции наблюдаются как для поперечных, так и для продольных волн. Вместе с тем существуют явления, для которых поперечность световых волн имеет принципиальное значение. К таким явлениям относится явление поляризации света.

В начале XIX века, когда Т. Юнг и О. Френель развивали волновую теорию света, природа световых волн была неизвестна. На первом этапе предполагалось, что свет представляет собой продольные волны, распространяющиеся в некоторой гипотетической среде – эфире. При изучении явлений интерференции и дифракции вопрос о том, являются ли световые волны продольными или поперечными, имел второстепенное значение. В то время казалось невероятным, что свет – это поперечные волны, так как по аналогии с механическими волнами пришлось бы предполагать, что эфир – это твердое тело (поперечные механические волны не могут распространяться в газообразной или жидкой среде).

Однако, постепенно накапливались экспериментальные факты, свидетельствующие в пользу поперечности световых волн. Еще в конце XVII века было обнаружено, что кристалл исландского шпата (CaCO_3) раздваивает проходящие через него лучи. Это явление получило название двойного лучепреломления (рис. 13).

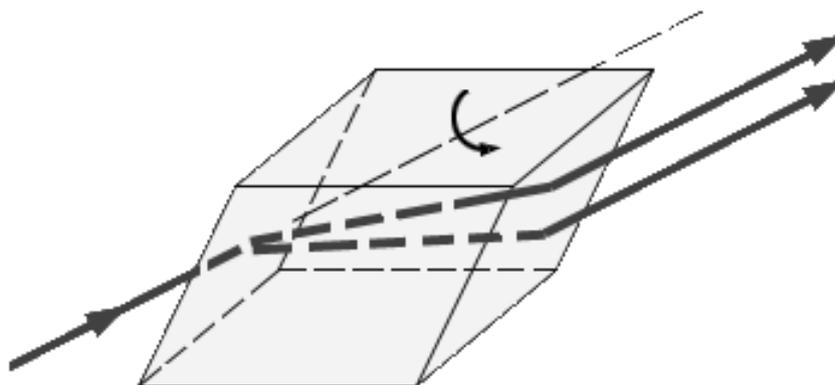


Рис. 13. Прохождение света через кристалл исландского шпата (двойное лучепреломление). Если кристалл поворачивать относительно направления первоначального луча, то поворачиваются оба луча, прошедшие через кристалл

В 1809 году французский инженер Э. Малюс открыл закон, названный его именем. В опытах Малюса свет последовательно пропусклся через две одинаковые пластинки из турмалина (прозрачное кристаллическое вещество зеленоватой окраски). Пластинки могли поворачиваться друг относительно друга на угол φ (рис. 14).

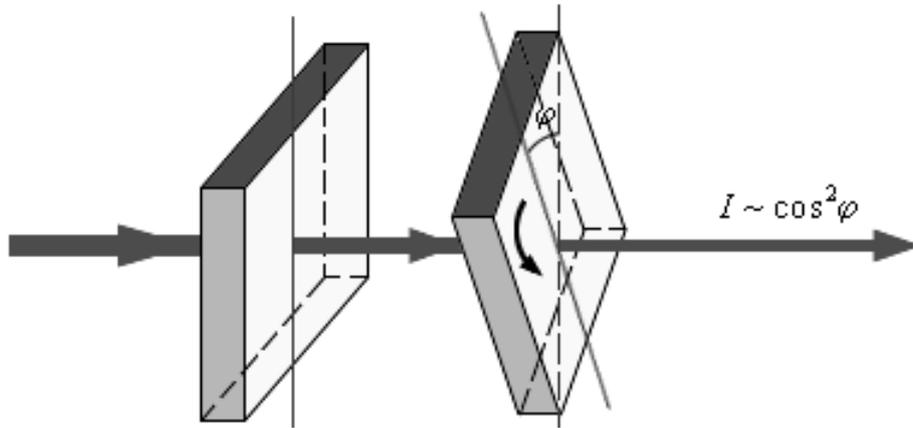


Рис. 14. Иллюстрация к закону Малюса

Интенсивность прошедшего света оказалась прямо пропорциональной $\cos^2 \varphi$:

$$I \sim \cos^2 \varphi.$$

Ни двойное лучепреломление, ни закон Малюса не могут найти объяснение в рамках теории продольных волн. Для продольных волн направление распространения луча является осью симметрии. В продольной волне все направления в плоскости, перпендикулярной лучу, равноправны. В поперечной волне (например, в волне, бегущей по резиновому жгуту) направление колебаний и перпендикулярное ему направление не равноправны (рис. 15).

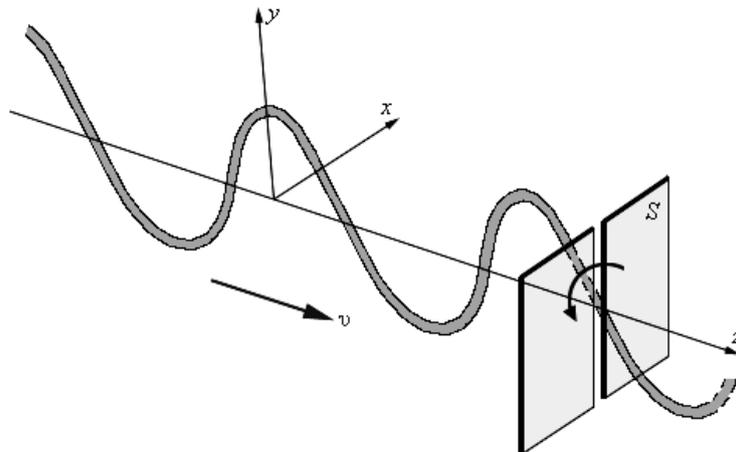


Рис. 15. Поперечная волна в резиновом жгуте. Частицы колеблются вдоль оси y . Поворот щели S вызовет затухание волны

Таким образом, асимметрия относительно луча является решающим признаком, который отличает поперечную волну от продольной. Впервые догадку о поперечности световых волн высказал Т. Юнг (1816 г.). Френель, независимо от Юнга, также выдвинул концепцию поперечности световых волн, обосновал ее многочисленными экспериментами и создал теорию двойного лучепреломления света в кристаллах.

В середине 60-х годов XIX века Максвелл сделал вывод о том, что свет – это электромагнитные волны. Этот вывод был сделан на основе совпадения известного значения скорости света со скоростью распространения предсказанных Максвеллом электромагнитных волн. К тому времени, когда Максвелл открыл существование электромагнитных волн, поперечность световых волн уже была доказано экспериментально. Поэтому Максвелл справедливо полагал, что поперечность электромагнитных волн является еще одним важнейшим доказательством электромагнитной природы света.

В электромагнитной теории света исчезли все затруднения, связанные с необходимостью введения особой среды распространения волн – эфира, который приходилось рассматривать как твердое тело.

В электромагнитной волне вектора \vec{E} и \vec{B} перпендикулярны друг другу и лежат в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны (рис. 15). Во всех процессах взаимодействия света с веществом основную роль играет электрический вектор \vec{E} , поэтому его называют световым вектором. Если при распространении электромагнитной волны световой вектор сохраняет свою ориентацию, такую волну называют линейно-поляризованной или плоско-поляризованной (термин поляризация волн был введен Малюсом применительно к поперечным механическим волнам). Плоскость, в которой колеблется световой вектор \vec{E} называется плоскостью колебаний (плоскость yz на рис. 15), а плоскость, в которой совершает колебание магнитный вектор \vec{B} – плоскостью поляризации (плоскость xz на рис. 15).

Если вдоль одного и того же направления распространяются две монохроматические волны, поляризованные в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, то в результате их сложения в общем случае возникает эллиптически-поляризованная волна (рис. 16).

В эллиптически-поляризованной волне в любой плоскости P , перпендикулярной направлению распространения волны, конец результирующего вектора \vec{E} за один период светового колебания обегает эллипс, который называется эллипсом поляризации. Форма и размер эллипса поляризации определяются амплитудами a_x и a_y линейно-поля-

ризованных волн и фазовым сдвигом $\Delta\varphi$ между ними. Частным случаем эллиптически-поляризованной волны является волна с круговой поляризацией ($a_x = a_y, \Delta\varphi = \pm\pi/2$).

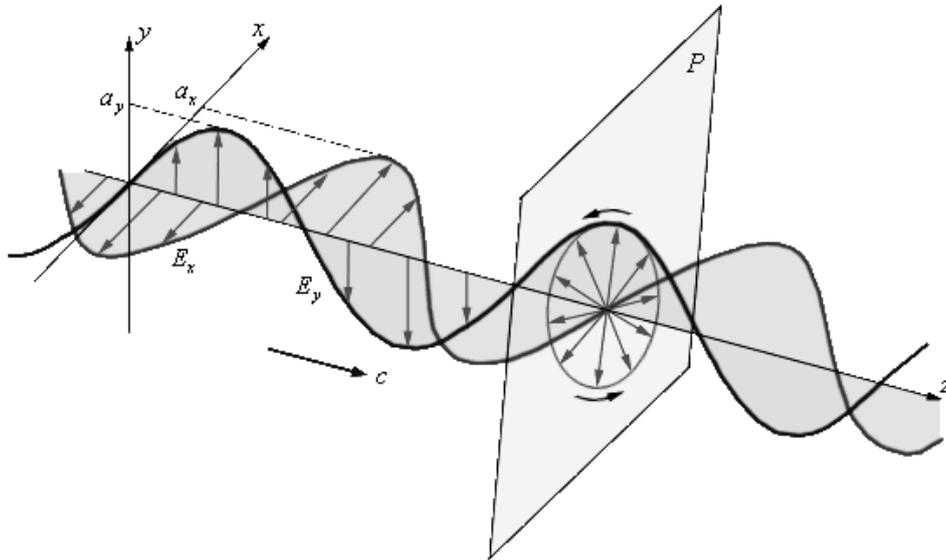


Рис. 16. Сложение двух взаимно перпендикулярно поляризованных волн и образование эллиптически поляризованной волны

Пространственная структура эллиптически-поляризованной волны представлена на рис. 17.

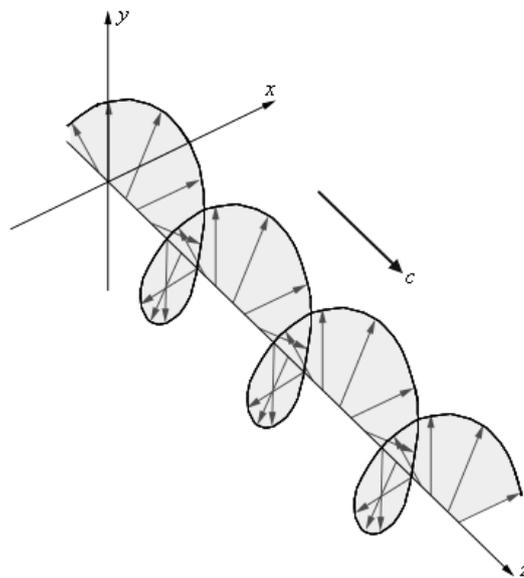


Рис. 17. Электрическое поле в эллиптически-поляризованной волне

Линейно-поляризованный свет испускается лазерными источниками. Свет может оказаться поляризованным при отражении или рассеянии. В частности, голубой свет от неба частично или полностью поляризован. Однако, свет, испускаемый обычными источниками (на-

пример, солнечный свет, излучение ламп накаливания и т. п.), неполяризован. Свет таких источников состоит в каждый момент из вкладов огромного числа независимо излучающих атомов с различной ориентацией светового вектора в излучаемых этими атомами волнах. Поэтому

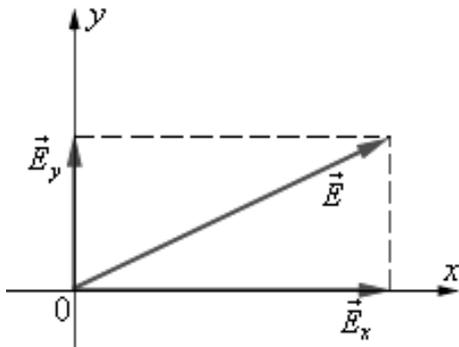


Рис. 18. Разложение вектора \vec{E} по осям

в результирующей волне вектор \vec{E} беспорядочно изменяет свою ориентацию во времени, так что в среднем все направления колебаний оказываются равноправными. Неполяризованный свет называют также естественным светом.

В каждый момент времени вектор \vec{E} может быть спроектирован на две взаимно перпендикулярные оси (рис. 18.).

Это означает, что любую волну (поляризованную и неполяризованную) можно представить как суперпозицию двух линейно-поляризованных во взаимно перпендикулярных направлениях волн:

$$\vec{E}(t) = \vec{E}_x(t) + \vec{E}_y(t).$$

Но в поляризованной волне обе составляющие $\vec{E}_x(t)$ и $\vec{E}_y(t)$ когерентны, а в неполяризованной — некогерентны, т. е. в первом случае разность фаз между $\vec{E}_x(t)$ и $\vec{E}_y(t)$ постоянна, а во втором она является случайной функцией времени.

Явление двойного лучепреломления света объясняется тем, что во многих кристаллических веществах показатели преломления для двух взаимно перпендикулярно поляризованных волн различны. Поэтому кристалл раздваивает проходящие через него лучи (рис. 13). Два луча на выходе кристалла линейно поляризованы во взаимно перпендикулярных направлениях. Кристаллы, в которых происходит двойное лучепреломление, называются анизотропными.

С помощью разложения вектора \vec{E} на составляющие по осям можно объяснить закон Малюса (рис. 14).

Поляризация света — ориентация векторов напряженности электрического поля и магнитной индукции световой волны в плоскости, перпендикулярной световому лучу. Обычно поляризация возникает при отражении и преломлении света, а также при распространении света в анизотропной среде. Различают линейную, круговую и эллиптическую поляризацию света.

1.5. Световая система единиц

1.5.1. Световые величины

Сила света I — основная величина в системе величин, на которой построена Международная система единиц. Сила света характеризует свечение источника видимого излучения в некотором направлении.

Размерность и единица силы света:

$$\dim I_v = J, [I_v] = 1 \text{ кд (кандела)}.$$

Кандела — это сила света в данном направлении от источника, испускающего монохроматическое излучение частотой $540 \cdot 10^{12}$ Гц, энергетическая сила света которого в том направлении составляет 1,683 Вт на стерадиан.

Размерность и единица светового потока

$$\dim \Phi = J, [\Phi_v] = 1 \text{ кд} \cdot \text{рад (кандела-радиан)}.$$

Эта единица называется люмен. Люмен равен световому потоку, испускаемому точечным источником в телесном угле 1 стерадиан (ср) при силе света 1 кд.

Освещенность E_v в точке поверхности — величина, равная отношению светового потока $d\Phi_v$, падающего на элемент поверхности, к площади dA этого элемента

$$E_v = d\Phi_v/dA.$$

Размерность и единица свещенности

$$\dim E_v = L^{-2}J, [E_v] = 1 \text{ лм/м}^2.$$

Эта единица освещенности называется люкс (лк).

Люкс равен освещенности поверхности площадью 1 м^2 при падающем на нее световом потоке 1 лм.

Яркость L_v в точке поверхности и в данном направлении — отношение силы света dI_v элемента поверхности к площади dA ортогональной проекции этого элемента на плоскость, перпендикулярную данному направлению

$$L_v = dI_v/dA.$$

Размерность и единица яркости

$$\dim L_v = L^{-2}J, [L_v] = 1 \text{ кд/м}^2.$$

Кандела на квадратный метр равна яркости светящейся поверхности площадью 1 м^2 при силе света 1 кд.

Ранее эта единица яркости называлась нит.

1.5.2. Фотометрические величины

Поток световой энергии измеряется в люменах. Определить световой поток в 1 лм невозможно, не обращаясь к светящимся телам. Основной мерой света долгое время была «свеча», которая считалась единицей силы света. Настоящие свечи уже более века в этом качестве не используются, так как с 1862 г. стала применяться специальная масляная лампа, а с 1877 г. — лампа, в которой сжигался пентан. В 1899 г. в качестве единицы силы света была принята «международная свеча», которая воспроизводилась с помощью поверяемых электрических ламп накаливания. В 1979 г. была принята несколько отличающаяся от нее международная единица, названная канделой (кд). Кандела равна силе света в данном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частоты $540 \cdot 10^{12}$ Гц ($\lambda = 555$ нм), энергетическая сила светового излучения которого в этом направлении составляет $1/683$ Вт/ср.

Чтобы дать определение люмена, рассмотрим точечный источник с силой света 1 кд во всех направлениях. Такой источник испускает полный световой поток, равный 4π лм. Если источник с силой света 1 кд освещает обращенную к нему небольшую пластинку, находящуюся на расстоянии 1 м, то освещенность поверхности этой пластинки равна 1 лм/м^2 , т. е. одному люксу.

Протяженный источник света или освещенный предмет характеризуется определенной яркостью (фотометрической яркостью). Если сила света, испускаемого 1 м^2 такой поверхности в данном направлении, равна 1 кд, то ее яркость в этом направлении равна 1 кд/м^2 . Яркость большинства тел и источников света в разных направлениях неодинакова.

Виды фотометрических измерений. Основные виды фотометрических измерений таковы: 1) сравнение силы света источников; 2) измерение полного потока от источника света; 3) измерение освещенности в заданной плоскости; 4) измерение яркости в заданном направлении; 5) измерение доли света, пропускаемой частично прозрачными объектами; 6) измерение доли света, отражаемой объектами.

Редуцированные фотометрические величины, эффективные фотометрические величины, характеризуют оптическое излучение по его воздействию на заданный селективный приёмник света. Если в качестве такого приёмника служит человеческий глаз, соответствующие фотометрические величины называются световыми величинами. При любом спектральном составе излучения одинаковым реакциям селек-

тивного приёмника соответствуют равные значения редуцированных фотометрических величин. В этом их основное удобство, особенно при оценке излучения, применяемого в практических целях. Каждая из редуцированных фотометрических величин есть интеграл от произведения спектральной плотности соответствующей энергетической величины, характеризующей излучение, на спектральную чувствительность данного приёмника. Международное соглашение заключено о применении лишь одной системы редуцированных фотометрических величин – световых величин. В принципе можно образовать системы редуцированных фотометрических величин применительно к любым приёмникам. Например, употребляют фитовеличины, которые характеризуют полезность излучения при выращивании растений, а также бактерицидные и эритемные редуцированные фотометрические величины для оценки ультрафиолетового излучения соответственно по обеззараживающему действию и по полезному действию на организм человека. В основе определения новых редуцированных фотометрических величин лежат некоторые ещё требующие экспериментальной проверки допущения по форме кривых спектральной чувствительности приёмников и по степени подчинения их реакции законам аддитивности и взаимозаменяемости множителей освещённость – время.

Фотометрия – совокупность методов измерения энергетических характеристик электромагнитного излучения и световых величин: освещённости, силы света, светового потока, яркости и др.

1.6. Оптические и светотехнические характеристики объектов контроля

Материалы, предназначенные для отражения, пропускания, поглощения, изменения характеристик и генерирования света, называются светотехническими. Их используют для изготовления отражателей, рассеивателей, защитных стекол, различных оптических деталей, светофильтров, электрических источников света, фотоэлементов и т. д.

1.6.1. Светотехнические материалы

Для создания нужного освещения при проведении съёмок широко используются различные приспособления (отражатели, рассеиватели, экраны и др.), изготовленные из самых разных материалов – металлов, тканей, стекол, кристаллов, оптической керамики, пластикатов. Спо-

способность этих приспособлений отражать, пропускать, поглощать или изменять спектральный состав падающего светового потока определяют светотехнические характеристики поверхности материала.

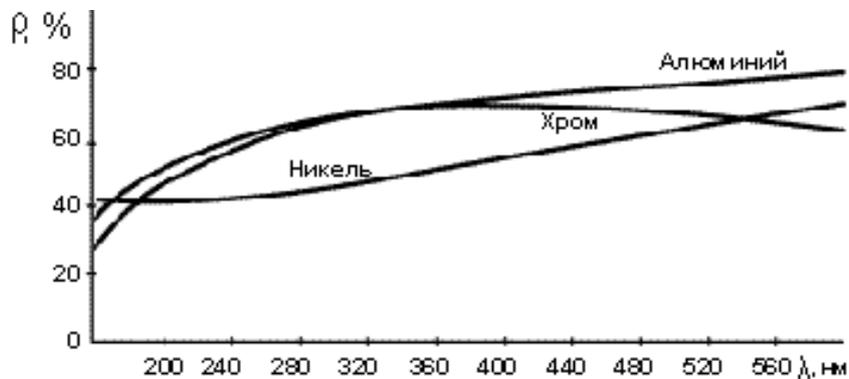


Рис. 19. Спектральные характеристики полированных металлов

Металлы. В отражателях используются металлические поверхности двух видов: полированные для зеркального (направленного) и матированные для диффузного и направленно-рассеянного отражения. Материалами для этих поверхностей обычно служат такие металлы, как алюминий, хром, никель, латунь, серебро, родий, кадмий и олово. Их применяют в виде сплошных листов, гальванического, химического покрытия или порошка в составе красящих веществ (бронзовая и алюминиевая краски). Зависимость коэффициента отражения полированных металлов (r) от длины волны светового излучения (λ) показана на рис. 19. Наиболее часто при изготовлении отражателей используют алюминий в виде тонких листов или фольги, наклеенной на какую-либо плоскую основу, или алюминиевого порошка в составе краски. Алюминий – легкий металл серебристого цвета, стойкий к атмосферным воздействиям и коррозии. Отличительными свойствами алюминия как светотехнического материала являются высокий коэффициент отражения (0,8...0,95), постоянная отражательная способность при длительном использовании и изменении температуры в пределах 300...750 К, равномерная спектральная характеристика в видимой части спектра (коэффициент отражения увеличивается на 0,1 в пределах от 400 до 700 нм).

Зеркальную серебряную поверхность отражателя получают путем гальванического отложения серебра на другом металле. Полированное серебро имеет максимальный коэффициент отражения, равный 0,95, но в результате окисления уже к концу первого года службы данный коэффициент у металлических серебряных зеркал уменьшается на 15–25 %.

Хром – металл белого цвета с оттенком синего, стойкий к воздействию большинства газов и органических кислот. В атмосферных условиях хром длительное время сохраняет высокую отражающую способность и незначительно окисляется при нагревании до температуры 400...600 К. Хромовые покрытия, нанесенные на подслои из меди или никеля, имеют высокую механическую прочность. Эти свойства позволяют использовать хромированные отражатели в осветительных приборах с высокими рабочими температурами. Коэффициенты отражения хромированных отражателей равны 0,61...0,62.

Родий – металл белого цвета с розовато-голубым оттенком, очень стойкий к коррозии и действию паров кислот, щелочей и других химически активных веществ, присутствующих в атмосфере. Родиевые покрытия обладают высокими отражательной способностью (коэффициент отражения – 0,72...0,74) и твердостью, поэтому их применяют при производстве высококачественных отражателей. Недостатками отражателей с родиевым покрытием являются их высокая стоимость и сложность изготовления.

Никель – металл серебристо-белого цвета, стойкий к атмосферной коррозии. Но его коэффициент отражения недостаточно высок (0,55...0,60), поэтому никель часто используется в качестве подслоя под хромовые и родиевые покрытия.

Поглощение света металлами. Из всех известных веществ металлы отличаются наибольшим поглощением света. Чтобы наблюдать прохождение света через слой металла, необходимо изготовить из него очень тонкие пленки толщиной в миллионные доли миллиметра. В принципе, свет, проходящий через металл, поглощается в соответствии с общим законом Бугера. Отличие состоит лишь в абсолютном значении показателя поглощения, который у металла будет очень большим. Так, например, при длине волны 589 нм показатель поглощения серебра составляет около $8,105 \text{ см}^{-1}$, платины – $9,105 \text{ см}^{-1}$, алюминия – $1,106 \text{ см}^{-1}$. В металлооптике используют безразмерную величину c , которая связана с показателем поглощения α' соотношением

$$\alpha' = 4\pi\chi/\lambda,$$

где λ – длина волны поглощаемого света в воздухе.

Значения постоянной χ для некоторых металлов, а также их коэффициенты преломления (η) и отражения (ρ) приведены в табл. 3.

Светотехнические характеристики некоторых материалов, применяемых в качестве отражателей осветительных приборов и экранов, приведены в табл. 4–6.

Таблица 3

*Постоянные χ , коэффициенты преломления (η) и отражения (ρ)
некоторых металлов при $\lambda = 589,3$ нм*

Металл	χ	η	ρ
Алюминий	5,23	1,44	0,83
Сурьма	4,94	3,04	0,70
Платина	4,26	2,06	0,70
Серебро	3,67	0,18	0,95
Висмут	3,66	1,90	0,65
Свинец	3,48	2,01	0,62
Никель	3,42	1,58	0,66
Вольфрам	3,25	3,46	0,54
Золото	2,82	0,37	0,85
Медь	2,62	0,64	0,73

Таблица 4

*Коэффициенты отражения (ρ) полированных металлов
(направленное отражение)*

Материал	ρ
Серебро	0,93...0,95
Стеклоанное зеркало, посеребренное	0,80...0,85
Алюминий алязакированный	0,93
Алюминий, напыленный в вакууме	0,95
Родий	0,74
Никель	0,70
Хром	0,62
Олово, белая жесьть	0,65...0,69

Таблица 5

*Коэффициенты отражения (ρ) матированных металлов
(направленно-рассеянное отражение)*

Материал	ρ
Стеклоанное зеркало с химической матировкой	0,80...0,82
Матированный алязакированный алюминий	0,72...0,82
Алюминиевая пудра в лаке (экранные материалы)	0,70...0,75
Алюминиевая краска на нитролаке	0,50...0,60

Даже самые качественные и чистые зеркала рассеивают некоторую часть падающего светового потока. Для металлических зеркал эта часть составляет десятую или сотую долю процента, а для хорошо отполированных стекол — около тысячной доли процента.

Таблица 6

Коэффициенты отражения (ρ) диффузно отражающих материалов

Материал	ρ
Оксид магния	0,96
Сульфат бария	0,95
Оксид цинка	0,95
Диоксид титана	0,93
Эмаль светотехническая, белая (на базе алюмината цинка)	0,85...0,90
Бело-матовый экраный материал	0,80...0,87
Матовая белая фарфоровая эмаль	0,65...0,82
Белая клеевая краска	0,65...0,70

Свойствами, близкими к идеальному рассеивателю, кроме оксида магния, осажденного на поверхности холодного предмета при сжигании металлической ленты или металлических стружек, обладают прессованные пластинки из чистых порошков сульфата бария или карбоната кальция. Характеристики материалов разной толщины приведены в табл. 7.

1.6.2. Взаимодействие света с веществом

При распространении света в веществе возникают следующие явления. Во-первых, изменяется скорость распространения, причем, скорость распространения зависит от длины световой волны. Это явление называется дисперсией.

Во-вторых, часть энергии световой волны теряется. Это явление называется поглощением или абсорбцией света.

Наконец, при распространении света в оптически неоднородной среде возникает рассеяние света на пространственных неоднородностях среды.

Таблица 7

*Коэффициенты пропускания (τ), отражения (ρ)
и поглощения (α) света материалов*

Материал	Толщина слоя, мм	τ	ρ	α
Стекло:				
• прозрачное бесцветное	1,0...3,0	0,89...0,91	0,08	0,01...0,02
• узорчатое бесцветное	3,2...5,9	0,57...0,90	0,08...0,24	0,02...0,04
• бесцветное, матированное песком	1,8...4,4	0,72...0,85	0,15...0,12	0,03...0,16
• бесцветное, матированное кислотой	1,3...3,7	0,75...0,89	0,09...0,13	0,02...0,12
• глушенное сплошное	1,3...6,1	0,10...0,66	0,30...0,75	0,04...0,28
• глушенное накладное	1,5...2,0	0,45...0,55	0,40...0,50	0,04...0,06
• опаловое	2,5	0,60	0,29	0,11
• органическое глушенное	3,0	0,53	0,32	0,15
Арказоль	0,2...0,3	0,75	—	—
Ткань эксельсиор	0,2...0,3	0,6	—	—
Стеклоткань	0,3...0,5	0,6	—	—
Калька лавсановая	0,2...0,3	0,4...0,75	—	—
Марля белая	—	0,6...0,8	—	—
Ткань хлопчато-бумажная белая	—	0,50...0,60	0,30...0,35	0,08...0,10
Шелк белый	—	0,60...0,65	0,35...0,40	0,01...0,02

1.6.3. Дисперсия света

Дисперсия света (разложение света) — это явление зависимости абсолютного показателя преломления вещества от длины волны света.

$$n = n(\lambda).$$

У прозрачных веществ примерный вид зависимости изображен на рис. 20.

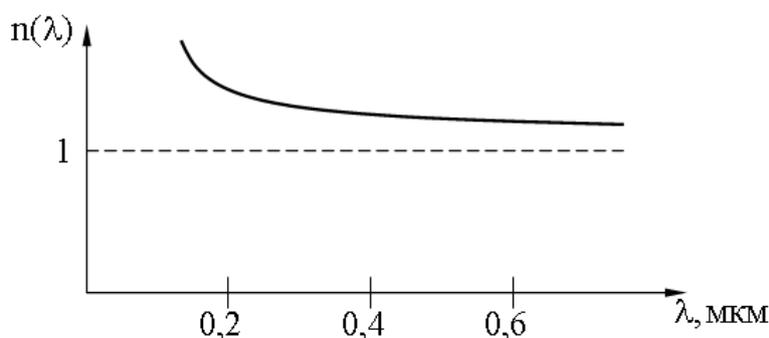


Рис. 20. Зависимость абсолютного показателя преломления вещества от длины волны света

Такая зависимость $n(\lambda)$, когда с ростом λ уменьшается n , называется нормальной дисперсией.

Один из самых наглядных примеров дисперсии – разложение белого света при прохождении его через призму (опыт Ньютона) (рис. 21). Причиной дисперсии является неодинаковая скорость распространения лучей света с различной длиной волны в оптической среде. Чем больше частота волны, тем больше показатель преломления и меньше ее скорость света в среде:

- у красного цвета максимальная скорость в среде и минимальная степень преломления;
- у фиолетового цвета минимальная скорость света в среде и максимальная степень преломления;
- в вакууме скорости света разного цвета одинаковы.

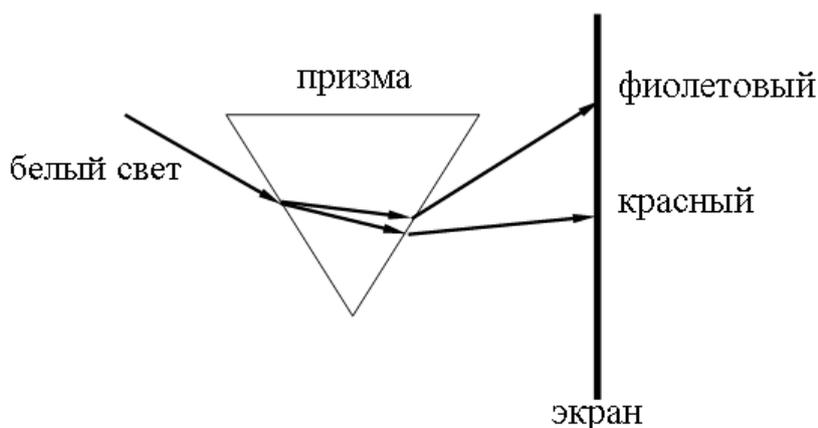


Рис. 21. Разложение белого света при прохождении его через призму (опыт Ньютона)

Однако в некоторых веществах (например в парах йода) наблюдается эффект аномальной дисперсии, при котором синие лучи преломляются меньше, чем красные, а другие лучи поглощаются веществом и от наблюдения ускользают.

Дисперсия белого света указывает на его составную природу.

Белый свет разлагается на спектр и в результате прохождения через дифракционную решётку. Причем дифракционный и призматический спектры несколько отличаются: призматический спектр сжат в красной части и растянут в фиолетовой (располагается в порядке убывания длины волны – от красного к фиолетовому).

Нормальный (дифракционный) спектр равномерный во всех областях (располагается в порядке возрастания длин волн – от фиолетового к красному).

Дисперсия света дала своё название закону дисперсии, связывающему частоту и волновое число любого колебательного процесса, не обязательно электромагнитной волны.

Дисперсией объясняется факт появления радуги после дождя.

Радуга – это оптическое явление, связанное с преломлением световых лучей на многочисленных капельках дождя. Однако далеко не все знают, как именно преломление света на капельках дождя приводит к возникновению на небосводе гигантской многоцветной дуги. Поэтому полезно подробнее остановиться на физическом объяснении этого эффектного оптического явления.

Радуга глазами внимательного наблюдателя. Прежде всего заметим, что радуга может наблюдаться только в стороне, противоположной солнцу. Если встать лицом к радуге, то солнце окажется сзади. Радуга возникает, когда солнце освещает завесу дождя. По мере того как дождь стихает, а затем прекращается, радуга блекнет и постепенно исчезает. Наблюдаемые в радуге цвета чередуются в такой же последовательности, как и в спектре, получаемом при пропускании пучка солнечных лучей через призму. При этом внутренняя (обращенная к поверхности Земли) крайняя область радуги окрашена в фиолетовый цвет, а внешняя крайняя область – в красный. Нередко над основной радугой возникает еще одна (вторичная) радуга – более широкая и размытая. Цвета во вторичной радуге чередуются в обратном порядке: от красного (крайняя внутренняя область дуги) до фиолетового (крайняя внешняя область).

Для наблюдателя, находящегося на относительно ровной земной поверхности, радуга появляется при условии, что угловая высота Солнца над горизонтом не превышает примерно 42° . Чем ниже солнце, тем больше угловая высота вершины радуги и тем, следовательно, больше наблюдаемый участок радуги. Вторичная радуга может наблюдаться, если высота солнца над горизонтом не превышает примерно 52° .

Дисперсия является причиной хроматической аберрации – одного из тщательно устраняемых недостатков (аббераций) оптических систем, в том числе фото- и видеообъективов.

1.6.4. Прохождение света через оптически неоднородную среду

Как уже упоминалось, вторичные волны, вызываемые вынужденными колебаниями электронов, рассеивают в стороны часть энергии, приносимой световой волной. Другими словами, распространение све-

та в веществе должно сопровождаться рассеянием света. Достаточным условием для возникновения такого явления служило бы, по-видимому, наличие электронов, способных колебаться под действием переменного поля световой волны, а такие электроны есть в достаточном количестве во всякой материальной среде. Однако нужно помнить, что эти вторичные волны когерентны между собой и, следовательно, при расчете интенсивности света, рассеянного в стороны, надо принять во внимание их взаимную интерференцию.

Действительно, если среда оптически однородна или, другими словами, если ее показатель преломления не меняется от точки к точке, то в одинаковых малых объемах световая волна индуцирует одинаковые электрические моменты, изменение которых во времени и приводит к излучению когерентных вторичных волн одинаковой амплитуды. Случай распространения плоской монохроматической волны в однородной среде представлен на рис. 22. На волновом фронте AA' выделим объем V_1^* с линейными размерами, малыми по сравнению с длиной волны λ падающего света, но содержащий достаточно много молекул, чтобы среду можно было рассматривать как сплошную. В направлении, характеризуемом углом θ , объем V_1^* излучает вторичную волну определенной амплитуды и фазы. На волновом фронте AA' (рис. 22) всегда можно выделить другой объем V_2^* , который в том же направлении испускает вторичную волну той же амплитуды, приходящую в точку наблюдения в противофазе с волной от V_1^* вследствие разности хода. Такие волны полностью погасят друг друга. Из рисунка видно, что расстояние l между выделенными объемами должно равняться $l = \lambda/2 \sin \theta$.

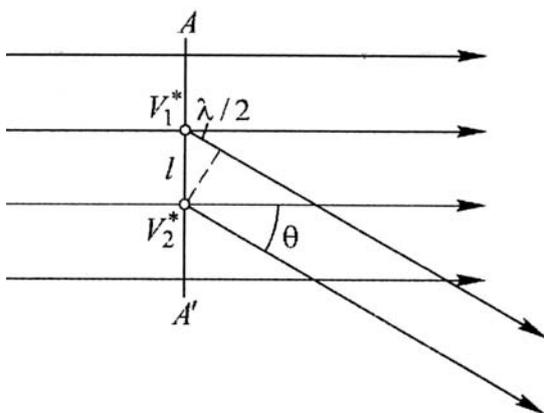


Рис. 22. Роль оптической неоднородности при светораспределении

Если среда вполне однородная, взаимное гашение будет иметь место для вторичных волн, испускаемых любой парой равновеликих объемов, расположенных на волновом фронте и отстоящих друг от друга на расстояние l . Этим доказывается сделанное утверждение, что в однородной среде свет будет распространяться только в первоначальном направлении и рассеяние света будет отсутствовать. Полное гашение вторичных волн происходит для любого угла

θ , кроме $\theta = 0$, ибо в этом направлении распространения падающей волны все вторичные волны складываются синфазно и образуют проходящую волну.

Таким образом, однородность среды и когерентность вторичных волн — условия, необходимые и достаточные для того, чтобы рассеянный свет не мог возникнуть. В действительности же идеально однородных сред не существует. В реальных средах оптические неоднородности различного происхождения всегда имеют место, и это означает, что рассеянный свет всегда есть очень интенсивный в одних случаях и предельно слабый в других.

Приведенные выше рассуждения об интерференции вторичных волн аналогичны использованному во френелевой теории прямолинейного распространения света. Если френелевые вторичные волны испускаются фиктивными источниками, то при рассеянии излучатели реальные и представляют собой атомы и молекулы среды. Однако для однородности среды нужно, чтобы в малых, но равных объемах содержалось одинаковое число излучателей одного сорта. Но такую «застывшую» картину реально осуществить нельзя, и поэтому всегда возникают нарушения однородности разной природы.

Рассуждения Френеля показывают, что нарушение однородности ведет к явлениям дифракции на этих пространственных неоднородностях. Если неоднородности невелики по размерам (малы по сравнению с длиной волны), то дифракционная картина будет характеризоваться довольно равномерным распределением света по всем направлениям. Как уже упоминалось, такую дифракцию на мелких неоднородностях нередко называют диффузией или рассеянием света.

Если неоднородности среды грубые, т. е. близкие между собой малые участки среды, равные по объему, являются источниками вторичных волн заметно различной интенсивности, то и рассеяние света проявляется очень отчетливо. При слабых нарушениях однородности свет, рассеянный в стороны, составляет лишь очень малую долю первичного пучка, и наблюдение его может потребовать специальных условий. Опыт показывает, что для явления рассеяния света существенно именно нарушение однородности среды, а не сама способность среды давать вторичные волны.

Пусть пучок почти параллельных лучей от источника проходит через кювету с водой. Если вода очень тщательно очищена, то пучок почти не виден при наблюдении сбоку, т. е. в стороны от первоначального пучка свет практически не рассеивается, но если капнуть в кювету ка-

плю одеколону, то возникает интенсивное рассеяние — пучок света явно виден со всех сторон. И если толщина, кюветы достаточна, то практически весь свет рассеивается в стороны и за кюветой мы уже не будем иметь ясно очерченного первичного пучка, а лишь диффузное поле рассеянного света. Конечно, введение капли одеколону не изменяет существенным образом свойств громадной массы молекул воды, находящейся в кювете, но содержащиеся в одеколоне в растворенном виде вещества выпадают в водном растворе, образуя эмульсию — мелкие капельки, взвешенные в воде. Наличие таких неоднородностей создает совсем иные условия для взаимной интерференции вторичных волн. В результате первичный пучок дифрагирует на этих неоднородностях и дает картину рассеяния, характерную для мутной среды.

Вернемся еще раз к вопросу об оптической однородности среды, нарушение которой, как мы видели, является физической причиной явления рассеяния света. Как сказано, в случае оптически однородной среды близкие между собой малые участки ее, равные по объему, становятся под действием световой волны источниками вторичных излучений одинаковой интенсивности. Это означает, что соответствующие участки приобретают под действием переменного поля световой волны равные между собой электрические моменты, изменением которых со временем и вызывается вторичное излучение. Условие оптической однородности означает, что показатель преломления для разных участков нашей среды имеет одинаковое значение. Отсюда следует, что при постоянстве показателя преломления во всем объеме среды нельзя ждать явлений рассеяния света.

Итак, для нарушения оптической однородности необходимо нарушение постоянства показателя преломления. Показатель преломления связан с диэлектрической проницаемостью среды ε , согласно соотношению:

$$n = \sqrt{\varepsilon}, \quad \varepsilon E = E + 4\pi P.$$

Наконец, поляризация среды, т. е. электрический момент, приобретаемый единицей объема, среды под действием внешнего поля E , есть $P = Np$, где N — число молекул и единице объема; p — электрический момент, приобретаемый каждой из них под действием поля E . Величину этого момента можно представить в виде $p = \alpha E$, где коэффициент α носит название коэффициента поляризуемости и характеризует собой строение молекулы. Итак,

$$P = N\alpha E,$$

т. е.

$$D = \varepsilon E = E + 4\pi N\alpha E,$$

или

$$\varepsilon = 1 + 4\pi N\alpha E.$$

Таким образом, постоянство показателя преломления означает, что для равных объемов (не очень малых по линейным размерам сравнительно с длиной волны) произведение $N\alpha$ в разных местах среды одинаково. Это означает, что если оптически однородная среда построена из совершенно одинаковых молекул (α постоянно), то постоянным должно быть и N , т. е. плотность среды повсюду постоянна. Если же среда состоит из разных молекул или групп, то постоянство показателя преломления может быть обеспечено соответствующим подбором N и α . Например, подобранная таким образом смесь бензола и сероуглерода с погруженными в нее кусочками стекла может представлять однородную среду — граница раздела между стеклом и жидкостью перестает быть заметной.

Указанным явлением можно воспользоваться для определения показателя преломления небольших прозрачных кусочков неопределенной формы. Подобрать смесь жидкостей, в которой границы кусочка исчезают (при освещении по возможности монохроматическим светом), остается только определить показатель преломления смеси для соответствующей длины волны, что нетрудно сделать, поместив, например, каплю в рефрактометр Аббе. Таким приемом широко пользуются в минералогии. На основе этого принципа разработан также удобный технический метод быстрого определения не только показателя преломления стекла, но и дисперсии его, что очень помогает контролю технологического процесса варки стекла с определенными оптическими данными (И.В. Обреимон).

Если вместо одной крупинки стекла взять мелкий порошок однородного стекла (например, оптическое стекло определенного сорта, измельченное в порошок с крупинками размером около 0,5 мм) и, поместив в кювету с плоскими стенками, залить его какой-либо жидкостью, то, вообще говоря, такая кювета представит собой тело, оптическая однородность которого очень несовершенна. Пучок света, проходящий через кювету, будет сильно рассеиваться в стороны. В направлении первичного пучка пройдет сравнительно мало света. Но если подобрать жидкость, как было указано выше, то несмотря на сильную физическую неоднородность, наша кювета будет оптически однородным те-

лом, сквозь которое пучок света пройдет не ослабляясь. В действительности, осуществить опыт в таком простом виде невозможно, ибо стекло и жидкость обладают различной дисперсией, так что среда оказывается оптически однородной только для сравнительно узкого интервала длин волн. Свет именно этой спектральной области будет проходить через кювету без ослабления, а другое излучение испытает значительное рассеяние в стороны. При достаточной толщине кюветы можно добиться того, что проходящий свет будет ограничен очень узким интервалом длин волн (около 3,0...5,0 нм), и такая кювета будет служить хорошим светофильтром. При незначительном нагревании кюветы можно наблюдать, как меняется окраска проходящего света, что обуславливается различной температурной зависимостью показателя преломления стекла, и выбранной жидкости.

Тиндаль первый наблюдал в лабораторных условиях рассеяние света на частицах, малых по сравнению с длиной волны видимого света (1869 г.). Он обратил внимание на то, что рассеянный под различными углами свет отличается от первоначального белого цвета синим оттенком, а свет, рассеянный под углом $\pi/2$ относительно направления падающего света, полностью или почти полностью линейно-поляризован.

Тиндаль высказал предположение, что голубой цвет неба, возможно, объясняется рассеянием солнечного света на пылинках, взвешенных в атмосфере Земли.

Во многих случаях наблюдается интенсивное рассеяние света вследствие естественно возникшей оптической неоднородности. Среды с явно выраженной оптической неоднородностью носят название мутных сред. Мутные среды – это дым (твердые частицы в газе) или туман (капельки жидкости, например воды, в воздухе), взвеси или суспензии, представляющие собой совокупность твердых частичек, плавающих в жидкости, эмульсии, т. е. взвесь капелек жидкости в другой жидкости, их не растворяющей (например молоко есть эмульсия жира в воде), твердые тела вроде перламутра, опалов или молочных стекол и т. д. Во всех подобных случаях наблюдается более или менее сильное рассеяние света мутной средой, носящее обычно название явления Тиндаля.

Изучение рассеяния в мутных средах, где размеры частиц малы по сравнению с длиной волны, привело к установлению некоторых общих закономерностей, экспериментально открытых Тиндалем и рядом позднейших исследователей и теоретически объясненных Рэлеем.

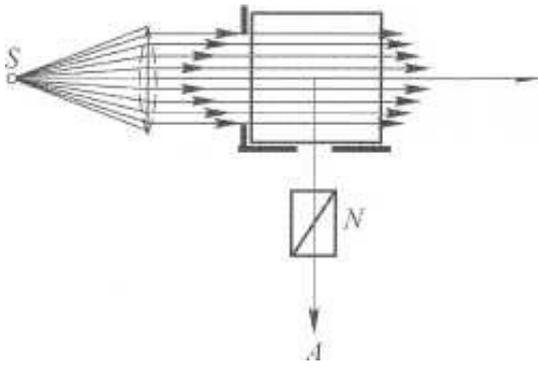


Рис. 23. Схема наблюдения света в мутных средах

свет имеет более голубой оттенок, чем свет источника S ; наоборот, свет, прошедший сквозь кювету (в направлении B), обогащен длинноволновым излучением и при достаточной толщине кюветы имеет красноватый оттенок.

При наблюдении рассеянного света под прямым углом ($\theta = 90^\circ$) к первичному пучку через поляризатор N обнаруживается, что рассеянный свет линейно поляризован, хотя первоначальный свет, идущий от S , естественный. Направление электрического вектора в рассеянном свете перпендикулярно к плоскости, проходящей через направление первичного пучка и наблюдения.

Если оценить интенсивность света, рассеянного по разным направлениям, то она окажется симметричной относительно оси первичного пучка и линии, к ней перпендикулярной (рис. 23). Кривая, графически показывающая распределение интенсивности рассеянного света по разным направлениям, носит название индикатрисы рассеяния. При естественном падающем свете индикатриса рассеяния имеет вид, показанный на рис. 23, и выражается формулой

$$I \sim 1 + \cos^2 \theta.$$

Пространственная индикатриса получается вращением кривой относительно оси BB .

Рэлей произвел расчет интенсивности света, рассеянного на сферических частицах, размеры которых малы по сравнению с длиной волны падающего света (1899 г.), и нашел, что для первоначального естественного света интенсивность рассеянного света, равна

$$I = I_0 \frac{9\pi^2 \varepsilon_0^2 N(V')^2}{2\lambda^4 L^2} \left(\frac{\varepsilon - \varepsilon_0}{\varepsilon + \varepsilon_0} \right)^2 (1 + \cos^2 \theta).$$

Представление об этих закономерностях можно получить на следующем простом опыте.

Пучок интенсивного света направляется на прямоугольную кювету, наполненную водой, которую сделали мутной, прибавив к ней несколько капель молока. След светового пучка будет ясно виден в воде.

При наблюдении сбоку (в направлении A , рис. 23) рассеянный

Здесь N – число частиц в рассеивающем объеме; V и ε – объем и диэлектрическая проницаемость частицы; ε_0 – диэлектрическая проницаемость среды, в которой взвешены частицы; θ – угол рассеяния; I_0 – интенсивность падающего света; L – расстояние от рассеивающего объема до точки наблюдения.

Формула Рэлея описывает перечисленные закономерности. Интенсивность рассеянного света оказывается обратно пропорциональной четвертой степени длины волны, что находится в соответствии с измерениями и может объяснить голубой цвет неба. Закон $I \sim 1/\lambda^4$ носит название закона Рэлея. Однако, как будет показано ниже, голубой цвет неба не связан с наличием пыли в атмосфере.

Из формулы Рэлея следует также, что интенсивность рассеянного света пропорциональна квадрату объема рассеивающей частицы или шестой степени радиуса сферической частицы.

Формула Рэлея содержит множитель

$$\left(\frac{\varepsilon - \varepsilon_0}{\varepsilon + \varepsilon_0} \right)^2,$$

который может служить мерой оптической неоднородности. Если $\varepsilon = \varepsilon_0$, то оптическая неоднородность исчезает и вместе с ней исчезает и рассеянный свет ($I = 0$). Такая мера оптической неоднородности относится не обязательно к малым частицам, но может служить для характеристики оптической неоднородности и в других случаях.

Ранее уже приводился пример, когда кусок стекла, погруженный в жидкость с подходящим показателем преломления, практически переставал быть видимым.

Обсужденные закономерности рассеяния света перестают быть справедливыми, если размеры рассеивающих частиц становятся сравнимыми с длиной волны, что нередко наблюдается в коллоидных растворах.

Зависимость интенсивности рассеянного света от длины волны для таких более крупных частиц становится менее заметной, т. е. рассеянный свет оказывается менее голубоватым, чем в случае мелких частиц. Рассеянный свет оказывается поляризованным лишь частично, причем степень поляризации зависит от размеров и формы частиц. Распределение интенсивности рассеянного света, по углам приобретает также более сложный характер и в зависимости от размера, формы и природы частиц и окружающей среды может принимать очень сложный вид, сохраняя симметрию лишь относительно направления первичного пучка.

Эти более сложные закономерности очень затрудняют теоретическое истолкование рассеяния в мутных средах с крупными частицами. Тем не менее такие случаи представляют значительный интерес, ибо они обычно имеют место при исследовании коллоидных растворов и мутных сред, являющихся продуктами многих химических реакций. Поэтому подобные измерения находят применение в коллоидной и аналитической химии и биологии, составляя предмет нефелометрических методов исследования.

Казалось, что голубой цвет неба можно объяснить явлением рассеяния света на пылинках, однако опыты показали, что это не так, ибо и в чистой атмосфере, лишенной пыли (высокогорные обсерватории), наблюдается еще более насыщенная голубизна неба и поляризация его света. Дальнейшие теоретические и экспериментальные исследования показали, что все эти эффекты объясняются молекулярным, рассеянием света в воздухе.

1.7. Функции и параметры зрения

1.7.1. Иллюзии зрительного восприятия

Оптическая иллюзия — впечатление о видимом предмете или явлении, несоответствующее действительности. Некоторые зрительные обманы давно уже имеют научное объяснение, другие до сих пор необъяснены. Почему же возникают оптические обманы? Зрительный аппарат человека — сложная система, обладающая определенными возможностями. С оптическими иллюзиями мы часто встречаемся в повседневной жизни. Во-первых, это естественные оптические иллюзии, о которых вы читали — миражи. Часто возникают световые обманы относительно цвета солнца на восходе и закате или иллюзии величины небесных светил у горизонта. Многие иллюзии объясняются строением глаза человека и его ограниченными возможностями. Так много дорожных аварий происходит в сумерках на перекрестках, где висят светофоры, когда перестраивается работа зрительного аппарата, или ночью, когда водители принимают свет светофора за свет обычного фонаря. Подобрать правильный рисунок на обоях, мы можем зрительно расширить небольшую комнату. Выбрав нужную расцветку ткани, можно скрыть недостатки своей фигуры. Хотя зрительная иллюзия — это не всегда игра света и тени или естественное восприятие данного объекта. Существует много специально выдуманных оптических головоломок, создающих потрясающие эффекты!

При восприятии пространственного взаиморасположения объектов в некоторых случаях возникают иллюзии зрительного восприятия. Они вызываются физическими, физиологическими и психологическими причинами. Кажущийся излом ложки в стакане чая – это пример физической иллюзии. Если надавить на глазное яблоко сбоку, то видимый предмет раздваивается – это пример физиологической иллюзии.

Психологические иллюзии зрения могут быть сгруппированы в зависимости от различных причин, которыми они вызываются.

Закономерности восприятия, в том числе и иллюзии, следует учитывать в следственной практике.

Например, при просмотре фотографии с изображением отпечатка следа преступника может возникнуть иллюзия – выступы могут показаться углублениями. У людей выработан стереотип: обычно неосознанно предполагается, что освещение изображаемого объекта (на фотографии, рисунке) происходило с противоположной от наблюдателя стороны (а не из-за спины).

Поэтому в необходимых случаях следует на фотографиях указывать расположение источника света.

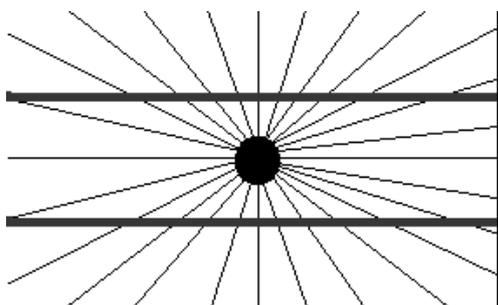


Рис. 24. Иллюзия Геринга (иллюзия веера). Прямые, на самом деле, параллельны

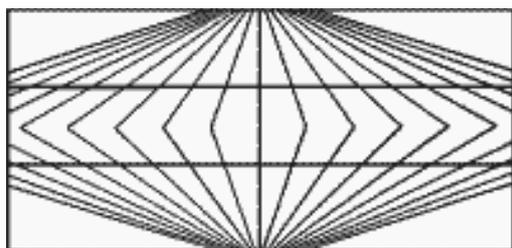


Рис. 25. Иллюзия Вундта (1896). Линии в центре, в действительности, параллельны

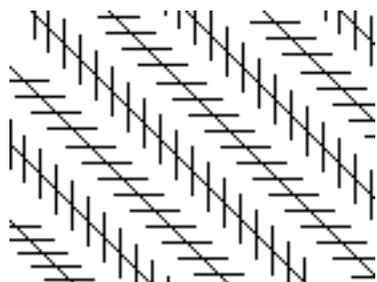


Рис. 26. Иллюзия Цолльнера (Zollner, 1860). Параллельные прямые кажутся изогнутыми

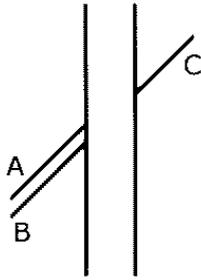


Рис. 27. Иллюзия Поггендорфа (Poggendorf, 1860). На одной прямой лежат линии ВС, а не АС, как кажется

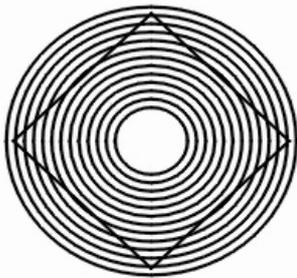


Рис. 28. Иллюзия У. Эренштейна (W. Ehrenstein, 1921). Квадрат кажется искаженным

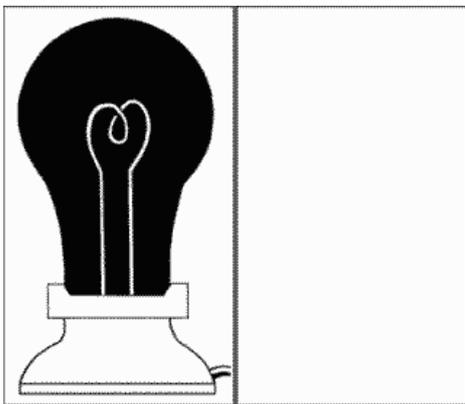


Рис. 29. 30 секунд смотрите на центр спирали лампочки, а затем переведите взгляд на пустой квадрат. Вы увидите, что лампочка загорится



Рис. 30. Найдите на картинке младенца

Зрительные последовательные образы

Почему, когда помотришь на яркую лампу, а затем переведешь взгляд на другой предмет (дверь, потолок), перед глазами возникают и некоторое время держатся какие-то пятна! Чем это объясняется?

Еще Леонардо да Винчи писал, что «блеск солнца или другое светившееся тело некоторое время остается в глазу после смотрения на него». Что это за явление? Возбуждение, возникшее в сетчатке глаза, не исчезает одновременно с прекращением действия света. Остается как бы «след» от предыдущего светового раздражения в виде так называемых зрительных последовательных образов.

Зрительные последовательные образы возникают, если источник света действует не меньше 1/100 секунды. Вначале по своей яркости они полностью соответствуют закончившемуся световоду раздражению, но вскоре становятся более темными. Зрительные последовательные образы влияют на восприятие световых раздражителей. Например, нам было бы трудно смотреть на свет, исходящий от источников переменного тока с числом периодов 50 в секунду. Благодаря зрительным последовательным образам мерцающий свет сливается в одно зрительное ощущение.

Обычно в повседневной жизни мы не замечаем возникновения зрительных последовательных образов, так как они подавляются импульсами, идущими извне. Однако при специально созданных условиях можно проследить их возникновение, особенности течения и затухание.

Длительность зрительных последовательных образов зависит от многих условий: интенсивности света, вызвавшего этот образ, предшествовавшей адаптации глаза; яркости фона, на который проецируются образы; состояния самого наблюдателя и др. Продолжительность их у здоровых людей бывает различна (от секунды и менее до нескольких минут). Общее утомление, недостаточный сон, пониженное содержание кислорода в воздухе уменьшают длительность зрительных последовательных образов.

Отсутствие этих образов выявлено у больных с сосудистыми и инфекционными процессами головного мозга и т. д. Зрительные последовательные образы отражают состояние зрительно-нервного аппарата и центральной нервной системы в целом. Если зрительные последовательные образы мешают зрению, если они длятся десятки минут, час или более, нужно обратиться к врачу, в первую очередь к окулисту, который при необходимости направит к соответствующему специалисту.

1.8. Теоретические основы технических измерений

1.8.1. Терминология по размерам

Различают номинальный, действительный и предельные размеры.

Номинальный размер – размер, относительно которого определяются предельные размеры и который служит началом отсчета отклонений. Размер, общий для отверстия и вала, образующих соединение, называется номинальным размером соединения. Номинальный размер определяется на стадии разработки изделия исходя из функционального назначения деталей путем выполнения кинематических, динамических и прочностных расчетов с учетом конструктивных, технологических, эстетических и других условий. Полученный таким образом номинальный размер должен быть округлен до значений, установленных ГОСТ 6636–69 «Нормальные линейные размеры». Стандартом в диапазоне от 0,001 до 20 000 мм предусмотрено четыре основных ряда размеров: $R_a 5$, $R_a 10$, $R_a 20$, $R_a 40$, а также один дополнительный ряд $R_a 80$.

В каждом десятичном интервале для каждого ряда содержится соответственно номеру ряда 5; 10; 20; 40 и 80 чисел. При установлении номинальных размеров предпочтение должно отдаваться рядам с более крупной градацией, например ряд $R_a 5$ следует предпочесть ряду $R_a 10$, ряд $R_a 10$ – ряду $R_a 20$ и т. д. Ряды нормальных линейных размеров построены на базе рядов предпочтительных чисел (ГОСТ 8032–84) с некоторым округлением.

Стандарт на нормальные линейные размеры имеет большое экономическое значение, состоящее в том, что при сокращении числа номинальных размеров сокращается необходимая номенклатура мерных режущих и измерительных инструментов (сверла, зенкеры, развертки, протяжки, калибры), штампов, приспособлений и другой технологической оснастки. При этом создаются условия для организации централизованного изготовления названных инструментов и оснастки на специализированных машиностроительных заводах.

Стандарт не распространяется на технологические межоперационные размеры и на размеры, связанные расчетными зависимостями с другими принятыми размерами или размерами стандартных комплектующих изделий.

Действительный размер – размер, установленный с помощью средства измерений с допустимой погрешностью.

Под погрешностью измерения понимается отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины, которое

определяется как алгебраическая разность этих величин.

За истинное значение измеряемой величины принимается математическое ожидание многократных измерений.

Величина допускаемой погрешности измерения, по которой выбирается необходимое средство измерения, регламентируется ГОСТ 8.051–81 в зависимости от точности изготовления измеряемого элемента детали, заданной в чертеже (см. гл. 3).

Предельные размеры – два предельно допустимых размера, между которыми должен находиться или которым может быть равен действительный размер. Большой из двух предельных размеров называется наибольшим предельным размером, а меньший – наименьшим предельным размером. Для предельного размера, который соответствует максимальному количеству остающегося на детали материала (верхний предел для вала и нижний – для отверстия), предусмотрен термин проходной предел. Для предельного размера, соответствующего минимуму остающегося материала (нижний предел для вала и верхний – для отверстия), – непроходной предел. Сравнивая действительный размер с предельными, можно судить о годности элемента детали. Предельные размеры определяют характер соединения деталей и их допустимую неточность изготовления. При этом предельные размеры могут быть больше или меньше номинального размера или совпадать с ним.

Чтобы гарантировать в достижимой степени выполнение функциональных требований системы допусков и посадок, дано специальное толкование предельных размеров, которые на предписанной длине должны отвечать следующим требованиям.

- Для отверстий диаметр наибольшего правильного цилиндра, который может быть вписан в отверстие так, чтобы обеспечивался плотный контакт с наиболее выступающими точками поверхности (размер сопрягаемой детали идеальной геометрической формы, прилегающей к отверстию без зазора), не должен быть меньше, чем проходной предел.
- Наибольший диаметр в любом месте отверстия не должен превышать непроходного предела. Для валов диаметр наименьшего правильного цилиндра, который может быть описан вокруг вала так, чтобы обеспечивался плотный контакт с наиболее выступающими точками поверхности (размер сопрягаемой детали идеальной геометрической формы, прилегающей к валу без зазора), не должен быть больше, чем проходной предел. Минимальный диаметр в любом месте вала не должен быть меньше, чем непроходной предел.

В ГОСТ 25346–89 даны специальные указания, что понимают под термином «предельный размер», называя это интерпретацией предельных размеров.

Размер, соответствующий пределу максимума материала (наибольший предельный размер вала и наименьший предельный размер отверстия), должен приниматься за размер элемента правильной соответствующей формы, который должен быть наибольшим прилегающим для отверстия и наименьшим прилегающим для вала.

Размер, соответствующий пределу минимума материала (наименьший предельный размер вала и наибольший предельный размер отверстия), должен определяться при двухточечной схеме измерения. Из полученных результатов выбирают наибольшие для отверстий и наименьшие для валов.

Для упрощения простановки размеров на чертежах вместо предельных размеров проставляют предельные отклонения: верхнее отклонение – алгебраическая разность между наибольшим предельным и номинальным размерами; нижнее отклонение – алгебраическая разность между наименьшим предельным и номинальным размерами.

Верхнее отклонение обозначается ES (Ecart Supérieur) для отверстий и es – для валов; нижнее отклонение обозначается EI (Ecart Intérieur) для отверстий и ei – для валов.

1.8.2. Точность геометрических параметров

Точность геометрических параметров является комплексным понятием, включающим в себя:

- точность размеров элементов деталей;
- точность геометрических форм поверхностей элементов деталей;
- точность взаимного расположения элементов деталей;
- шероховатость поверхностей деталей (микрогеометрия);
- волнистость поверхностей (макрогеометрия).

Точность – это степень соответствия действительных значений геометрических параметров их заданным (расчетным) значениям. Мерой точности является погрешность.

За расчетные размеры отверстий принимают их наименьшие предельные размеры, для валов – наибольшие предельные размеры.

Образование погрешностей геометрических параметров вызывается действием множества конструктивно-технологических факторов, проявляемых в процессе изготовления изделий, например:

- погрешности изготовления оборудования и технологической оснастки и их износ в процессе эксплуатации;
- погрешности и износ рабочих и измерительных инструментов;
- упругие деформации и вибрации системы станок приспособление—инструмент—деталь, возникающие при выполнении технологических процессов обработки;
- тепловые деформации рабочих инструментов и обрабатываемых деталей;
- погрешности базирования и установки деталей на станках;
- погрешности настройки оборудования;
- нестабильность физико-механических характеристик материала обрабатываемых деталей;
- неодинаковость припусков на обработку;
- характер напряженного состояния заготовок;
- форма, размеры и масса обрабатываемых деталей;
- квалификация рабочих-исполнителей.

Погрешности геометрических параметров обрабатываемых деталей, возникающие под действием указанных факторов, разделяют по характеру причинно-следственных связей их проявления на систематические, случайные и грубые.

Систематическими называют погрешности, постоянные по абсолютному значению и знаку или закономерно изменяющиеся в зависимости от одного или нескольких неслучайных факторов.

Примерами образования постоянных по величине систематических погрешностей в размерах обрабатываемых деталей являются погрешности, вызываемые неточностью параметров станков, например отклонение от параллельности линии центров токарного станка и направляющих станины; неточностью размеров сверл, используемых для сверления в детали отверстий; неточностью размеров заготовок и станочных приспособлений, в которые устанавливаются заготовки; наличием систематических погрешностей в измерительных средствах и др.

К числу закономерно изменяющихся во времени систематических погрешностей относятся погрешности, вызываемые износом рабочих и измерительных инструментов, технологического оборудования и различных приспособлений.

Случайные погрешности определяются факторами, носящими случайный характер. Они имеют различные значения. При обработке каждой детали могут изменяться в пределах обрабатываемой поверхности, численное значение которых заранее установить нельзя.

Случайные погрешности являются следствием таких факторов, как, например, неравномерный припуск на обработку, вызванный погрешностями размеров заготовки, или неодинаковая твердость обрабатываемого материала в пределах обрабатываемой поверхности детали. Такие погрешности возникают также при обработке разных одноименных деталей. При этом в процессе обработки будут изменяться силы резания и вызванные ими упругие деформации станка, инструмента и самой детали.

Случайные погрешности возникают в связи с погрешностями Установки каждой детали на станке, что обусловлено погрешностями предшествующей обработки детали, ошибками рабочего и т. д.

Грубыми называют погрешности, явно искажающие результаты наблюдений.

1.8.3. Методы исследования и оценки результатирующих погрешностей

В настоящее время применяют два метода исследования и оценки погрешностей геометрических параметров в процессе изготовления деталей: расчетно-аналитический и опытно-статистический.

Расчетно-аналитический метод исследования точности основан на выделении доминирующих факторов и анализе функциональных связей этих факторов с вызываемыми ими погрешностями.

К таким исследованиям относят исследования жесткости упругой системы станок—приспособление—инструмент—деталь. Эти исследования позволили установить функциональные связи между точностью геометрических параметров обрабатываемых деталей и параметрами жесткости узлов станка, приспособления, инструмента и самой детали с учетом способов установки ее на станке при обработке, а также параметрами режимов обработки, определяющими силы, действующие на рассматриваемую систему.

Рассмотрим простейший пример.

Определить составляющую результирующей погрешности диаметра вала, обтачиваемого на токарном станке, вызванной упругой деформацией детали, при условии, что остальные элементы рассматриваемой упругой системы принимаются абсолютно жесткими.

В качестве силы резания, вызывающей упругую деформацию детали, принимаем радиальную составляющую P_y силы резания, оказывающую наибольшее влияние на образование погрешности.

Наибольшая величина упругого прогиба детали будет при расположении суппорта станка с закрепленным в резцедержателе резцом на расстоянии $1/2$ от установочных центров передней и задней бабок.

Опытно-статистический метод основан на закономерностях теории вероятностей и математической статистики.

С помощью теории вероятностей и математической статистики можно определить значения результирующих случайных погрешностей.

Зависимость между числовыми значениями случайной величины и вероятностью их появления устанавливается законом распределения вероятностей случайных величин.

Для выявления закона распределения вероятностей случайной величины необходимо получить и обработать массив опытно-статистических данных. Эти данные, например, в виде действительных размеров x (элемента детали, погрешность изготовления которого необходимо найти) в определенном количестве (рекомендуется $N < 200$) получают при изготовлении деталей в неизменных условиях протекания технологического процесса.

Для анализа величины результирующей погрешности необходимо знать, какому теоретическому закону распределения вероятностей случайной величины соответствует установленное эмпирическое распределение.

Исходя из вида эмпирической кривой, анализа факторов, вызывающих образование результирующей погрешности и значений параметров эмпирического распределения, выдвигается гипотеза о соответствии полученного распределения тому или иному теоретическому закону распределения. Соответствие эмпирического и предполагаемого теоретического распределений устанавливается по критериям А.Н. Колмогорова или Пирсона.

Наибольшее распространение в качестве закона распределения погрешностей при измерении линейных и угловых размеров, результирующих погрешностей изготовления элементов деталей с линейными и угловыми размерами, а также погрешностей массы деталей, величин твердости и других механических и физических параметров получил нормальный закон распределения вероятностей (закон Гаусса). Наиболее полно этот закон проявляется в случаях, когда случайная величина определяется множеством составляющих также случайных величин, среди которых нет доминирующих.

Рассмотренный опытно-статистический метод определения результирующих погрешностей лег в основу разработки систем допусков

во многих странах. Для разработки различных национальных систем допусков осуществлялось изготовление в опытном порядке партий деталей определенных размеров в нормальных производственных условиях.

По результатам измерений размеров деталей каждой партии строились полигоны рассеивания, которые сопоставлялись с теоретическими нормами нормального распределения.

На основании этого метода установлены все закономерности Единой системы допусков и посадок (ЕСДП).

По условиям, определяющим точность результата, измерения делятся на три класса.

1. Измерения максимально возможной точности, достижимой при существующем уровне техники.

К ним относятся в первую очередь эталонные измерения, связанные с максимально возможной точностью воспроизведения установленных единиц физических величин, и, кроме того, измерения физических констант, прежде всего универсальных (например, абсолютного значения ускорения свободного падения, гиромагнитного отношения протона и др.).

К этому же классу относятся и некоторые специальные измерения, требующие высокой точности.

2. Контрольно-поверочные измерения, погрешность которых с определенной вероятностью не должна превышать некоторого заданного значения.

К ним относятся измерения, выполняемые лабораториями государственного надзора за внедрением и соблюдением стандартов и состоянием измерительной техники и заводскими измерительными лабораториями, которые гарантируют погрешность результата с определенной вероятностью, не превышающей некоторого, заранее заданного значения.

3. Технические измерения, в которых погрешность результата определяется характеристиками средств измерений.

Примерами технических измерений являются измерения, выполняемые в процессе производства на машиностроительных предприятиях, щитах распределительных устройств электрических станций и др.

По способу выражения результатов измерений различают абсолютные и относительные измерения.

Абсолютными называются измерения, которые основаны на прямых измерениях одной или нескольких основных величин или на использовании значений физических констант.

Примером абсолютных измерений может служить определение длины в метрах (м), силы электрического тока в амперах (А), ускорения свободного падения в метрах на секунду в квадрате (м/с²).

Относительными называются измерения отношения величины к одноименной величине, играющей роль единицы, или измерения величины по отношению к одноименной величине, принимаемой за исходную.

В качестве примера относительных измерений можно привести измерение относительной влажности воздуха, определяемой как отношение количества водяных паров в 1 м³ воздуха к количеству водяных паров, которое насыщает 1 м³ воздуха при данной температуре.

Основными характеристиками измерений являются: принцип измерений, метод измерений, погрешность, точность, правильность и достоверность.

Принцип измерений – физическое явление или совокупность физических явлений, положенных в основу измерений. Например, измерение массы тела при помощи взвешивания с использованием силы тяжести, пропорциональной массе, измерение температуры с использованием термоэлектрического эффекта.

Метод измерений – совокупность приемов использования принципов и средств измерений. Средствами измерений являются используемые технические средства, имеющие нормированные метрологические свойства.

Системы единиц физических величин

Понятие о физической величине – одно из наиболее общих в физике и метрологии. Под физической величиной понимается свойство, общее в качественном отношении для многих физических объектов (физических систем, их состояний и происходящих в них процессов), но в количественном отношении индивидуальное для каждого объекта. Так, все тела обладают массой и температурой, но для каждого из них эти параметры различны. То же самое можно сказать и о других величинах – электрическом токе, вязкости жидкостей или потоке излучения.

Для того чтобы можно было установить различия в количественном содержании свойств в каждом объекте, отображаемых физической величиной, вводится понятие размера физической величины.

Единицам физических величин присваивается полное и сокращенное символьное обозначение – размерность. Например, масса – килограмм (кг), время – секунда (с), длина – метр (м), сила – Ньютон (Н).

Исторически первой системой единиц физических величин была принятая в 1791 г. Национальным собранием Франции метрическая система мер. Она не являлась еще системой единиц в современном понимании, а включала в себя единицы длин, площадей, объемов, вместимостей и веса, в основу которых были положены две единицы – метр и килограмм.

В 1832 г. немецкий математик К. Гаусс предложил методику построения системы единиц как совокупности основных и производных. Он построил систему единиц, в которой за основу были приняты три произвольные, независимые друг от друга единицы – длины, массы и времени. Все остальные единицы можно было определить с помощью этих трех. Такую систему единиц, связанных определенным образом с тремя основными, Гаусс назвал абсолютной системой. За основные единицы он принял миллиметр, миллиграмм и секунду.

В дальнейшем с развитием науки и техники появился ряд систем единиц физических величин, построенных по принципу, предложенному Гауссом, базирующихся на метрической системе мер, но отличающихся друг от друга основными единицами.

Рассмотрим главные системы единиц физических величин.

Система СГС. Система единиц физических величин СГС, в которой основными единицами являются сантиметр как единица длины, грамм как единица массы и секунда как единица времени, была установлена в 1881 г.

Система МКГСС. Применение килограмма как единицы веса, а в последующем как единицы силы вообще, привело в конце XIX века к формированию системы единиц физических величин с тремя основными единицами: метр – единица длины, килограмм-сила – единица силы и секунда – единица времени.

Система МКСА. Основы этой системы были предложены в 1901 г. итальянским ученым Джорджи. Основными единицами системы МКСА являются метр, килограмм, секунда и ампер.

Установление единой международной системы единиц

Наличие ряда систем единиц физических величин, а также значительного числа внесистемных единиц, неудобства, связанные с пересчетом при переходе от одной системы единиц к другой, требовало унификации единиц измерений. Рост научно-технических и экономических связей между разными странами обуславливал необходимость такой унификации в международном масштабе.

Требовалась единая система единиц физических величин, практически удобная и охватывающая различные области измерений. При этом она должна была сохранить принцип когерентности (равенство единице коэффициента пропорциональности в уравнениях связи между физическими величинами).

В 1954 г. X Генеральная конференция по мерам и весам установила шесть основных единиц (метр, килограмм, секунда, ампер, кельвин и свеча) практической системы единиц. Система, основанная на утвержденных в 1954 г. шести основных единицах, была названа Международной системой единиц, сокращенно СИ (SI – начальные буквы французского наименования *Systeme International*). Был утвержден перечень шести основных, двух дополнительных и первый список двадцати семи производных единиц, а также приставки для образования кратных и дольных единиц.

1.8.4. Основные единицы СИ

Основные единицы СИ с указанием сокращенных обозначений русскими и латинскими буквами приведены в табл. 8.

Таблица 8

Величина	Единица измерения	Сокращенное обозначение единицы	
		русское	международное
Длина	метр	м	m
Масса	килограмм	кг	kg
Время	секунда	с	s
Сила электрического тока	ампер	А	A
Термодинамическая температура	кельвин	К	K
Сила света	кандела	кд	cd
Количество вещества	моль	моль	mol

Определения основных единиц, соответствующие решениям Генеральной конференции по мерам и весам, следующие.

Метр равен длине пути, проходимого светом в вакууме за $1/299792458$ долю секунды.

Килограмм равен массе международного прототипа килограмма.

Секунда равна 9192631770 периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133.

Ампер равен силе неизменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади кругового сечения, расположенным на расстоянии 1 м один от другого в вакууме, вызывает на каждом участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия, равную $2 \cdot 10^{-7}$ Н.

Кельвин равен $1/273,16$ части термодинамической температуры тройной точки воды.

Моль равен количеству вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько содержится атомов в углероде-12 массой 0,012 кг.

Кандела равна силе света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой $540 \cdot 10^7$ Гц, энергетическая сила света которого в этом направлении составляет $1/683$ Вт/ср.

1.8.5. Дополнительные единицы СИ

Международная система единиц включает в себя две дополнительные единицы — для измерения плоского и телесного углов.

Единица плоского угла — радиан (рад) — угол между двумя радиусами окружности, дуга между которыми по длине равна радиусу. В градусном исчислении радиан равен $57^{\circ}17'48''$.

Стерadian (ср), принимаемый за единицу телесного угла, — телесный угол, вершина которого расположена в центре сферы и который вырезает на поверхности сферы площадь, равную площади квадрата со стороной, по длине равной радиусу сферы.

Измеряют телесные углы путем определения плоских углов и проведения дополнительных расчетов по формуле

$$Q = 2\pi(1 - \cos\alpha/2),$$

где Q — телесный угол; α — плоский угол при вершине конуса, образованного внутри сферы данным телесным углом.

Телесному углу 1 ср соответствует плоский угол, равный $65^{\circ}32'$, углу π ср — плоский угол 120° , углу 2π ср — плоский угол 180° .

Дополнительные единицы СИ использованы для образования единиц угловой скорости, углового ускорения и некоторых других величин. Сами по себе радиан и стерадиан применяются в основном для теоретических построений и расчетов, так как большинство важных для практики значений углов (полный угол, прямой угол и т. д.) в радианах выражаются трансцендентными числами (2π , $\pi/2$ и т. д.).

1.8.6. Производные единицы СИ

Производные единицы Международной системы единиц образуются с помощью простейших уравнений между величинами, в которых числовые коэффициенты равны единице. Так, для линейной скорости в качестве определяющего уравнения можно воспользоваться выражением для скорости равномерного прямолинейного движения $v = l/t$.

При длине l пройденного пути (в метрах) и времени t , за которое пройден этот путь (в секундах), скорость выражается в метрах в секунду (м/с). Поэтому единица скорости СИ – метр в секунду – это скорость прямолинейно и равномерно движущейся точки, при которой она за время 1 с перемещается на расстояние 1 м.

Если в определяющее уравнение входит числовой коэффициент, то для образования производной единицы в правую часть уравнения следует подставлять такие числовые значения исходных величин, чтобы числовое значение определяемой производной единицы было равно единице. Например, единица кинетической энергии СИ – килограмм-метр в квадрате на секунду в квадрате – это кинетическая энергия тела массой 2 кг, движущегося со скоростью 1 м/с, или кинетическая энергия тела массой 1 кг, движущегося со скоростью $\sqrt{2}$ м/с. Эта единица имеет особое наименование – джоуль (сокращенное обозначение Дж).

1.8.7. Кратные и дольные единицы

Наиболее прогрессивным способом образования кратных и дольных единиц является принятая в метрической системе мер десятичная кратность между большими и меньшими единицами.

В табл. 9 приводятся множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименования.

Следует учитывать, что при образовании кратных и дольных единиц площади и объема с помощью приставок может возникнуть двойственность прочтения в зависимости от того, куда добавляется приставка. Так, сокращенное обозначение 1 км^2 можно трактовать и как 1 квадратный километр и как 1000 квадратных метров, что, очевидно, не одно и то же ($1 \text{ квадратный километр} = 1\,000\,000 \text{ квадратных метров}$). В соответствии с международными правилами кратные и дольные единицы площади и объема следует образовывать, присоединяя приставки к исходным единицам. Таким образом, степени относятся к тем единицам, которые получены в результате присоединения приставок. Поэтому $1 \text{ км}^2 = 1 (\text{км})^2 = (10^3 \text{ м})^2 = 10^6 \text{ м}^2$.

Таблица 9

Множитель	Приставка	Обозначение приставки	
		русское	международное
10^{18}	экса	Э	E
10^{15}	пета	П	P
10^{12}	тера	Т	T
10^9	гига	Г	G
10^6	мега	М	M
10^3	кило	к	k
10^2	гекто	г	h
10^1	дека	да	da
10^{-1}	деци	д	d
10^{-2}	санتي	с	c
10^{-3}	милли	м	m
10^{-6}	микро	мк	μ
10^{-9}	нано	н	n
10^{-12}	пико	п	p
10^{-15}	фемто	ф	f
10^{-18}	атто	а	a

Контрольные вопросы

1. Когерентные волны – это волны:
 - а) с постоянной разностью фаз;
 - б) с одинаковой интенсивностью;
 - в) с одинаковой частотой.

2. Оптическая длина пути зависит от:
 - а) геометрической длины пути;
 - б) частоты;
 - в) показателя преломления среды;
 - г) «а» и «в».

3. Явления, обусловленные зависимостью показателей преломления вещества от длины волны света, называются:
 - а) дифракцией;
 - б) интерференцией;
 - в) дисперсией;
 - г) монохроматизацией.

4. При длине волны света 550 нм монохроматический лучистый поток 1 Вт эквивалентен световому потоку:
- а) 433 лм,
 - б) 683 лм,
 - в) 874 лм
 - г) 1008 лм.
5. Определить освещенность, созданную электролампой силой света 400 св, на горизонтальной поверхности стола, в центре, при радиусах 1,0 и 2,0 м от центра, если лампа подвешена над центром стола на высоте 2 м от его поверхности:
- а) 150 лк, 70 лк, 40 лк;
 - б) 100 лк, 70 лк, 35 лк;
 - в) 80 лк, 60 лк, 30 лк;
 - г) 70 лк, 50 лк, 30 лк.
6. Определить в лм/м² цветность светлой матовой поверхности объекта контроля площадью 240 см² отражающей 30 % падающего на него светового потока 80 лм:
- а) 1000;
 - б) 2000;
 - в) 3000;
 - г) 4000.
7. Как правило, характер отражения света от поверхностей объектов контроля можно оценить как:
- а) зеркальный;
 - б) направленно-рассеянный;
 - в) диффузный;
 - г) «а» или «в».
8. Дифракция света объясняется ... природой света:
- а) волновой;
 - б) корпускулярной;
 - в) «а» и «б»;
 - г) ни «а», ни «б».
9. Интерференция света объясняется ... природой света:
- а) корпускулярной;
 - б) волновой;
 - в) «а» и «б»;
 - г) ни «а», ни «б».

10. Коэффициент отражения света от металлов зависит от:
- а) электропроводности металла;
 - б) состояния его поверхности;
 - в) частоты света;
 - г) всего перечисленного.
11. С помощью фотопленки можно непосредственно измерить:
- а) яркость;
 - б) освещенность;
 - в) экспозицию;
 - г) «а» и «б».
12. Аккомодация – это способность глаза изменять:
- а) световую чувствительность глаза;
 - б) порог контрастности глаза;
 - в) разрешающую способность глаза;
 - г) кривизну поверхности хрусталика глаза.
13. Адаптация – это способность глаза:
- а) изменять световую чувствительность глаза;
 - б) изменять порог контрастности глаза;
 - в) изменять разрешающую способность глаза;
 - г) приспосабливаться к различным условиям освещения.
14. Какие виды адаптации, существуют:
- а) темновая и световая;
 - б) хроматическая и яркостная;
 - в) «а» и «б»;
 - г) ни «а», ни «б».
15. При яркостях, больших ..., зрачок глаза максимально сужен и глаз быстро утомляется:
- а) 200 кд/м²
 - б) 500 кд/м²;
 - в) 1500 кд/м²;
 - г) 2 000 кд/м².
16. Явление дискомфорта проявляется как ощущение неудобства или напряженности, возникающее при:
- а) неудовлетворительном распределении яркости в освещенном пространстве;
 - б) шуме в помещении;
 - в) «а» и «б»;
 - г) ни «а», ни «б».

17. Зрительная работоспособность должна:
- а) выполнять зрительную работу;
 - б) поддерживать высокую степень мобилизации зрительных функций;
 - в) «а» и «б»;
 - г) ни «а», ни «б».
18. Светлые пятна на темном фоне кажутся ... по сравнению с такими же по размерам темными пятнами на светлом фоне:
- а) большими;
 - б) меньшими;
 - в) равными;
 - г) ни «б», ни «в».
19. Закон, утверждающий, что интенсивность ощущения пропорциональна логарифму интенсивности раздражения, называют законом:
- а) Ампера;
 - б) Фехнера;
 - в) Вебера;
 - г) Фарадея.
20. Снижение зрения и расстройство способности видеть при ослабленном освещении может быть вызвано недостатком в организме человека витамина:
- а) А;
 - б) В;
 - в) С;
 - г) А и В.
21. Правильное моргание (каждые ... секунд) сохраняет зрение и повышает эффективность зрительной работы:
- а) 1–3;
 - б) 3–5;
 - в) 5–7;
 - г) 7–10.

Глава 2
**ИСТОЧНИКИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
И СВЕТОВЫЕ ПРИБОРЫ И УСТАНОВКИ**

2.1. Источники света

Источники света по физическим принципам действия могут быть разделены на тепловые, газоразрядные, люминесцентные и лазерные.

Если яркость источника L не зависит от направления излучения, то его сила света подчиняется закону Ламберта

$$I = I_0 \cos \theta,$$

где I_0 – максимальная сила света источника; θ – угол между нормалью к поверхности источника и направлением излучения. Такие источники света называются ламбертовскими или равнояркими. Например, однородный светящийся шар, подчиняющийся закону Ламберта, кажется одинаково ярким посередине и по краям.

Основные свойства источника ОИ определяют путем сравнения с излучением черного тела, т. е. идеализированного источника, который при данной температуре на всех частотах имеет наибольшую энергию излучения. Классическим примером черного тела является солнце. К излучателям, по своим свойствам приближающимся к черному телу, относятся, например, леток доменной печи или замочная скважина в двери чулана без окон. Все тела при температуре $T > 0$ являются источниками теплового излучения – электромагнитных волн. Черное тело полностью поглощает любое электромагнитное излучение, падающее на его поверхность. Величины, описывающие черные тела обозначают с помощью верхнего индекса «0». Для теплового излучения черного тела установлены следующие законы.

Закон Планка:

$$M_{e,\lambda}^0 = \frac{c_1}{\lambda^5 e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1},$$

где $M_{e,\lambda}^0$ – спектральная плотность энергетической светимости черного тела, ($[M_{e,\lambda}] = 1 \text{ Вт/м}^3$), λ – длина волны, T – температура, $c_1 = 3,71 \cdot 10^{-16} \text{ Вт}\cdot\text{м}^2$, $c_2 = 1,438 \cdot 10^{-2} \text{ м}\cdot\text{К}$.

Длина волны λ_m , при которой функция $M_{e,\lambda}^0$ имеет максимум, связана с температурой черного тела законом Вина

$$\lambda_m T = b,$$

где $b = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ м}\cdot\text{К}$ – постоянная Вина.

При этом $(M_{e,\lambda}^0)_{\max} = AT^5$, где $A = 1,301 \cdot 10^{-15} \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К}^5)$.

Согласно закону Стефана–Больцмана энергетическая светимость черного тела зависит от температуры следующим образом

$$M_e^0 = \int_0^{\infty} M_{e,\lambda}^0 d\lambda = \sigma T^4,$$

где $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ – постоянная Стефана–Больцмана.

Все источники, отличающиеся по характеру излучения от абсолютно черного тела, делятся на селективные и серые.

Селективным источником называется тело, у которого энергетическая светимость M_e является функцией длины волны и температуры, т. е. такое тело обладает различным излучением на разных длинах волн. Для ламбертовских излучателей этот факт можно описать с помощью коэффициента излучения (теплового излучателя), равного отношению энергетических светимостей реального и черного тел:

$$\varepsilon = \frac{M_e}{M_e^0}.$$

Для данной длины волны λ вводится также понятие спектрального коэффициента излучения $\varepsilon_\lambda = M_{e,\lambda} / M_{e,\lambda}^0$. Величины ε и ε_λ определяются экспериментально, их значения для различных тел и веществ приведены в справочных таблицах.

Серым телом называется тело, у которого $\varepsilon_\lambda = \text{const}$, т. е. коэффициент излучения не зависит от длины волны.

Для характеристики источников света, которые не подчиняются закону Ламберта, вместо коэффициентов ε и ε_λ применяют коэффициенты направленного теплового излучения

$$\begin{aligned} \varepsilon(\theta, \phi) &= L_e(\theta, \phi) / L_e^0, \\ \varepsilon_\lambda(\theta, \phi) &= L_{e,\lambda}(\theta, \phi) / L_{e,\lambda}^0, \end{aligned}$$

где L_e – энергетическая яркость; L_e^0 – спектральная плотность энергетической яркости, углы q и j , отсчитываются от нормали к поверхности источника в двух взаимно перпендикулярных плоскостях.

В качестве характеристик тепловых излучателей используют также различные характеристические температуры – радиационную, яркостную и цветовую.

Радиационная температура T_R – физическая величина, равная температуре такого черного тела, энергетическая яркость которого равна энергетической яркости рассматриваемого теплового излучателя.

Яркостная температура T_L – физическая величина, равная такой температуре черного тела, при которой на данной длине волны это тело имеет такую же спектральную плотность энергетической яркости, что и у рассматриваемого теплового излучателя.

Цветовая температура T_C – физическая величина, которая равняется температуре черного тела, при которой излучение имеет такую же цветность (спектральный состав), что и у рассматриваемого излучения.

2.2. Тепловые источники света

Наиболее употребительные источники света – тепловые. Спектр тепловых источников света близок к спектру черного тела. К тепловым источникам света в первую очередь относятся лампы накаливания, а также различные пламена, электрическая дуга и искра.

Достоинства тепловых источников света – широкой спектральный диапазон, который легко перестраивается, надежность, большая световая мощность (до 10^6 лм). К недостаткам этих излучателей относятся инерционность, вследствие чего их модуляция по цепи питания возможна только при низких частотах, изменение спектра излучения при колебаниях напряжения питания, высокая температура рабочего тела.

В ОИС используют различные лампы накаливания в зависимости от назначения системы. Ленточные лампы, которые имеют постоянную яркость и удобное для измерительных целей тело накала, калибруются по излучению абсолютно черного тела и служат в качестве световых и энергетических эталонов, применяемых в различных приборах. Яркость ламп накаливания составляет от 10^5 до 10^7 кд/м², их индикатриса излучения близка к сферической. Основным металлом, применяемым для нитей ламп накаливания, является вольфрам.

Зависимость $\varepsilon_\lambda(\lambda, T)$ для вольфрама показывает, что для температуры 2800 К, при которой работают лампы накаливания, в диапазоне от $\lambda_1 = 300$ нм до $\lambda_2 = 1$ мкм спектральный коэффициент излучения ε_λ изменяется примерно на 20 %. С указанной точностью вольфрам можно считать серым телом и расчет спектральной плотности энергетической

светимости вести по формуле Планка. С повышением температуры излучение вольфрама приближается к излучению абсолютно черного тела. Кроме вольфрама, в качестве тела накала применяются молибден, платина, графит и др.

В инфракрасной области спектра применяются накаляющиеся штифты и сетки. Большое распространение получил штифт Нернста, который представляет собой цилиндр, спрессованный из порошкообразной массы циркония, смешанной с 15 % окиси натрия. Излучение штифта Нернста при высоких температурах ≈ 2000 °С до длин волн ≈ 15 мкм близко к излучению абсолютно черного тела ($\lambda_m \approx 1,3$ мкм). Для этих же целей применяют штифт Глобара – стержень из спрессованного порошкообразного карборунда, который нагревается до 1200 °С и применяется при инфракрасной спектроскопии (при $\lambda \approx 10$ мкм).

Галогенные лампы накаливания имеют более высокую светимость при той же температуре нити накала. Спектр их излучения лежит в интервале от 0,3 до 3,5 мкм.

Применение дуговых и искровых источников света ограничено лабораторией, где они применяются в качестве источников очень яркого света – до 10^9 кд/м².

2.3. Другие источники света

Действие газоразрядных источников света основано на эффекте свечения газов при электрическом разряде. К ним относятся неоновые, аргоновые, ксеноновые и другие газонаполненные лампы. По сравнению с лампами накаливания газоразрядные источники света обладают большей яркостью – $10^6 \dots 10^8$ кд/м². Они могут работать в модулированном и непрерывном режимах, причем возможна модуляция по цепи питания лампы. Индикатриса излучения близка к сферической, размеры излучающей области – 0,1...1,0 мм. Спектр излучения газоразрядных источников обычно линейчатый или смешанный. Заметим, что спектр ксеноновых ламп близок к солнечному.

Газоразрядные источники света применяются при люминесцентном контроле, в стробоскопических осветителях, а также в качестве мощных источников инфракрасного и ультрафиолетового излучений в диапазоне длин волн от 0,25 до 2 мкм.

В люминесцентных источниках света используется эффект электролюминесценции или катодолюминесценции. К наиболее известным люминесцентным источникам света относятся светодиоды и электронно-лучевые трубки.

Светодиоды (СД) имеют малые габариты, высокий по сравнению с лампами накаливания коэффициент полезного действия. Яркость СД невелика, она колеблется в интервале от 1 до 100 кд/м². Зависимость яркости СД от тока накала линейна, она модулируется по цепи питания вплоть до частот 1...5 МГц. Индикатриса излучения светодиодов – полусферическая или направленная с углом раскрытия от 30 до 60°. В настоящее время освоен выпуск светодиодных линеек и матриц, содержащих свыше тысячи отдельных элементов.

Наиболее примечательным свойством светодиодов является очень узкая спектральная область излучения. Это практически монохроматические источники света. Основные области излучения СД – зеленая, желтая, красная и инфракрасная (0,9 мкм). Созданы светодиоды, спектр излучения которых можно перестраивать, используя цепь питания.

Светодиод или светоизлучающий диод (СД, LED) – полупроводниковый прибор, излучающий некогерентный свет при пропускании через него электрический ток. Излучаемый свет лежит в узком участке спектра, его цветовые характеристики зависят от химического состава использованного в нем полупроводника. Как и в нормальном полупроводниковом диоде, в светодиоде имеется *p-n* переход. При пропускании электрического тока в прямом направлении, носители заряда – электроны и дырки рекомбинируют с излучением фотонов. Не всякие полупроводниковые материалы эффективно испускают свет при рекомбинации. Хорошими излучателями являются, как правило, прямозонные полупроводники типа АІІВV (например, GaAs или InP) и АІІВVI (например, ZnSe или CdTe). Варьируя состав полупроводников, можно создавать светодиоды для всевозможных длин волн от ультрафиолета (GaN) до среднего инфракрасного диапазона (PbS).

Диоды, сделанные из непрямозонных полупроводников (например, кремниевый Si или германиевый Ge диоды, а также сплавы SiGe, SiC) свет практически не излучают. Впрочем, в связи с развитостью кремниевой технологии, активно ведутся работы по созданию светоизлучающих диодов на основе кремния. Последнее время большие надежды свя-

зывают с технологией квантовых точек и фотонных кристаллов.

Применение светодиодов:

- в качестве индикаторов, в виде одиночных светодиодов (например индикатор включения на панели прибора) так и в виде цифрового или буквенно-цифрового табло (например цифры на часах);



Рис. 31. Обозначение светодиода в электрических схемах

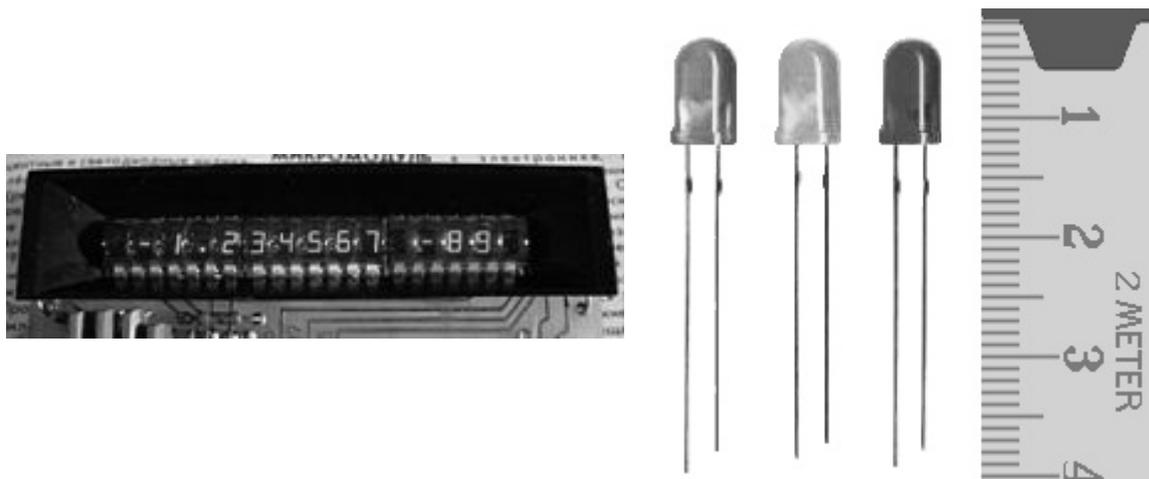


Рис. 32. Светодиодный индикатор

- в больших уличных экранах, в бегущих строках;
- в оптопарах;
- как источник света в фонарях;
- в качестве источников модулированного оптического излучения (передача сигнала по оптоволокну, пульты ДУ, светотелефоны);
- в подсветке небольших ЖК экранов (мобильные телефоны, цифровые фотоаппараты и т. д.)

OLED (англ. Organic Light-Emitting Diode – органический светодиод) – тонкоплёночные светодиоды в которых в качестве излучающего слоя применяются органические соединения. Основное применение технология OLED находит при создании устройств отображения информации (дисплеев). Предполагается, что производство таких дисплеев будет гораздо дешевле, нежели производство жидкокристаллических дисплеев.

Главная проблема для OLED – время непрерывной работы должно быть не меньше 15 тыс. ч. Одно препятствие, которое в настоящее время мешает широкому распространению этой технологии, состоит в том, что «красный» и «желтый» OLED могут непрерывно работать на десятки тысяч часов дольше чем «синий». Это визуально искажает изображение, причем время качественного показа неприемлемо для коммерчески жизнеспособного устройства. Хотя сегодня «синий» OLED все-таки добрался до отметки в 17,5 тыс. ч непрерывной работы.

Дисплеи из органического светодиода широко применяются в сотовых телефонах, GPS-навигаторах, приборах ночного видения.

При производстве OLED-дисплеев используются полимеры, способные излучать световые волны при подаче электрического напряжения. Электрический ток подводится к органическим молекулам, которые испускают яркий свет.

Преимущества перед LCD:

- меньшие габариты и вес;
- отсутствие необходимости в подсветке;
- отсутствие такого параметра как угол обзора – изображение видно без потери качества с любого угла;
- мгновенный отклик матрицы (время отклика в тысячи раз меньше) – изображение не «смазывается» и не имеет артефактов разгона матрицы;
- более качественная цветопередача (высокий контраст);
- более низкое энергопотребление при той же яркости;
- возможность создания гибких экранов.

Недостатки:

- маленький срок службы люминофоров некоторых цветов (порядка 2–3 лет)
- как следствие первого, невозможность создания долговечных полноценных TrueColor-дисплеев;
- дороговизна и необкатанность технологии по созданию больших матриц.

При этом для дисплеев телефонов, фотокамер и иных малых устройств достаточно 5 тыс. ч непрерывной работы. Поэтому OLED уже сегодня успешно используется для них.

Можно считать это временными трудностями становления новой технологии, поскольку разрабатываются новые долговечные люминофоры. Также растут мощности по производству матриц.



Рис. 33. 11-дюймовый OLED-дисплей Sony

Органические дисплеи встраиваются в телефоны, цифровые фотоаппараты, автомобильные бортовые компьютеры, коммерческие OLED-телевизоры, выпускаются небольшие OLED-дисплеи для цифровых индикаторов, лицевых панелей автомагнитол, MP3-плееров и т. д.

Дисплеи OLED встраиваются в телефоны, цифровые камеры и другую технику, где не требуется большого полноцветного экрана. Также есть и мониторы на основе органики, например Samsung активно ведет разработки в данной области (предел в 40 дюймов достигнут). А Epson вообще создал 40-дюймовый дисплей при помощи печати OLED-материала струйным принтером.

Характерными особенностями **электронно-лучевых трубок (ЭЛТ)** являются большая информационная емкость (до 10^6 элементов на растр) и высокое быстродействие. Основным недостатком ЭЛТ как источника света — невысокая яркость, которая колеблется от 10^2 до 10^3 кд/м². ЭЛТ применяют в основном в системах бегущего луча, в устройствах анализа фотоснимков и в телевизионных микроскопах.

В современных ОИС наиболее часто применяются лазерные источники света. Лазеры могут работать в импульсном режиме, когда большая энергия лазера высвечивается в малые промежутки времени, и в непрерывном режиме, когда мощность излучения значительно меньше.

Лазеры или оптические квантовые генераторы — это современные когерентные источники излучения, обладающие целым рядом уникальных свойств.

Одним из важнейших свойств лазерного излучения является чрезвычайно высокая степень его монохроматичности, недостижимая в излучении нелазерных источников. Это и все другие уникальные свойства лазерного излучения возникают в результате согласованного, кооперативного испускания световых квантов многими атомами рабочего вещества.

Одним из самых распространенных лазеров в настоящее время является газовый лазер на смеси гелия и неона. Общее давление в смеси составляет порядка 10^2 Па при соотношении компонент He и Ne примерно 10 : 1. Активным газом, на котором возникает генерация на длине волны 632,8 нм (ярко-красный свет) в непрерывном режиме, является неон. Гелий — буферный газ, он участвует в механизме создания инверсной населенности одного из верхних уровней неона. Излучение He-Ne-лазера обладает исключительной, непревзойденной монохроматичностью. Расчеты показывают, что спектральная ширина линии генерации He-Ne-лазера составляет примерно $\Delta\nu \approx 5 \cdot 10^{-4}$ Гц. Это фан-

тастически малая величина. Время когерентности такого излучения оказывается порядка $\tau \approx 1/\Delta\nu \approx 2 \cdot 10^3$ с, а длина когерентности $c \cdot \tau \approx 6 \cdot 10^{11}$ м, т. е. больше диаметра земной орбиты!

На рис. 34 изображена схема гелий-неонового лазера.

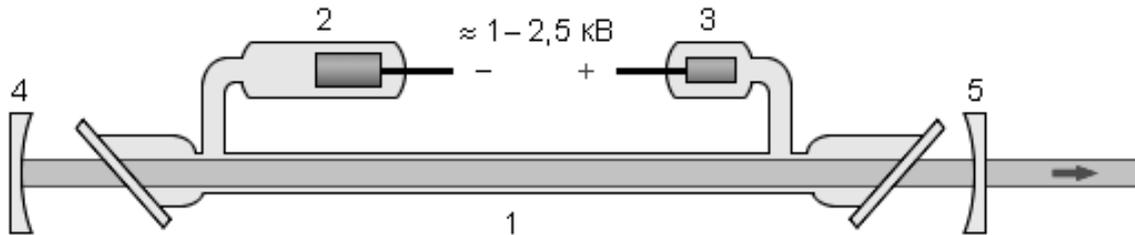


Рис. 34. Схема гелий-неонового лазера:

1 — стеклянная кювета со смесью гелия и неона, в которой создается высоковольтный разряд; 2 — катод; 3 — анод; 4 — глухое сферическое зеркало с пропусканием менее 0,1 %; 5 — сферическое зеркало с пропусканием 1...2 %

Современные высокостабильные гелий-неоновые лазеры производятся в моноблочном исполнении. Для этого используется стеклообразное вещество — ситалл, обладающий практически нулевым температурным коэффициентом расширения. В куске ситалла в форме прямоугольного параллелепипеда просверливается канал, к торцам которого на оптическом контакте приклеиваются лазерные зеркала. Канал заполняется смесью гелия и неона. Катод и анод вводятся через дополнительные боковые каналы. Такая моноблочная конструкция обеспечивает высокую механическую и тепловую стабильность.

Недостатком лазеров является малый коэффициент полезного действия, что приводит к значительному увеличению габаритов системы и сложности конструкции. В этом смысле весьма перспективными являются полупроводниковые лазеры, которые обладают очень большим коэффициентом полезного действия (≈ 90 %) и малыми габаритами. Эти лазеры менее монохроматичны, что, однако, не может препятствовать их применению в ОИС, так как диапазон длин волн, в которых они работают, значительно уже, чем диапазон, определяемый спектральными характеристиками светофильтров и приемника излучения.

Кроме основных видов источников света, рассмотренных выше, в ОИС, особенно при визуальном контроле, часто используется и естественное освещение, создаваемое солнцем.

В ряде случаев методы ОНК используются для изучения свойств самосветящихся тел (тела раскаленные до высокой температуры, например, расплавленный металл; плазменные образования, такие как фронт детонации при взрыве; высокотемпературная плазма в установ-

ках управляемого термоядерного синтеза и т. п.). При этом объект контроля и источник ОИ составляют одно целое, оптический сигнал формируется непосредственно в процессе генерации ОИ. Другими словами здесь объект контроля – свойства излучателя, а информационные параметры сигнала создаются при возникновении ОИ.

2.4. Светофильтры и ослабители света

Для корректировки яркости и спектрального состава оптического излучения, созданного источником света, в ОИС используются светофильтры. Существуют светофильтры из стекла, окрашенного в массу, желатиновые светофильтры, газовые, поляризационные и интерференционные. По области применения различаются светофильтры для фотографических работ, для выделения узких участков спектра, нейтральные для равномерного ослабления спектра, с изменяющейся характеристикой (фотометрические клинья), для изменения излучения источника света в соответствии с чувствительностью приемника и т. п. Основными характеристиками светофильтров служат интегральный и спектральный коэффициенты пропускания.

Интегральным коэффициентом пропускания светофильтра называется величина равная

$$\tau = \Phi_e' / \Phi_e,$$

где Φ_e – поток энергии излучения, упавший на светофильтр, и Φ_e' – поток энергии, прошедший через него. По характеру изменения величины коэффициента пропускания светофильтры подразделяются на дискретные, плавные, постоянные. По спектральным свойствам различают селективные и неселективные. Коэффициент пропускания селективного светофильтра зависит от длины волны λ и называется спектральным коэффициентом пропускания τ_λ . Практически весьма удобно пользоваться спектральным коэффициентом пропускания, выраженным через оптическую плотность D_λ :

$$D_\lambda = -\lg \tau_\lambda.$$

Интегральный коэффициент пропускания может быть вычислен по формуле

$$\tau = \int_0^\infty M_{e,\lambda} \tau_\lambda d\lambda / \int_0^\infty M_{e,\lambda} d\lambda,$$

где числитель получается путем перемножения ординат кривой спектрального распределения в источнике света на ординаты кривой спек-

трального коэффициента пропускания светофильтра. По изменению характеристик излучения при ослаблении отличают светофильтры, не меняющие структуру пучка излучения (направление, поляризация, расходимость, когерентность и т. д.), от светофильтров, меняющих эту структуру.

Развитие лазерной техники, фотометрии, спектроскопии привело к широкому развитию светофильтров, имеющих весьма малые коэффициенты пропускания. Эти приборы в настоящее время называются ослабителями. В связи с этим введено понятие коэффициента ослабления, который практически совпадает с интегральным коэффициентом пропускания. Значения коэффициента ослабления колеблются в интервале от 10^{-2} до 10^{-9} .

2.5. Требования к освещению

В нашей стране основным документом, устанавливающим требования к освещению, являются «Строительные нормы и правила 23-05-95». Кроме этого документа, имеются «Санитарные правила и нормы СанПиН 2.21/2.1.1.1278–03», «Московские городские строительные нормы МГСН 2.06–99» и множество отраслевых норм. В Европе с 2003 года вводятся единые «Европейские нормы освещённости EN 12464-1», детализируемые в разных странах в соответствии с национальными условиями. В России проводится работа по приведению отечественных норм в соответствие с общеевропейскими, поэтому в дальнейшем мы будем ориентироваться преимущественно на требования EN 12464-1. В этих нормах регламентируются следующие параметры освещения:

- освещённость зоны выполнения зрительной задачи (Task Area);
- освещённость зоны непосредственного окружения;
- обобщённый показатель дискомфорта;
- общий индекс цветопередачи;
- пульсации освещённости.

Для рабочих мест с компьютерами, кроме этого, регламентируются предельные значения яркости светильников, отражающихся на экранах дисплеев. Первые два параметра характеризуют количественную сторону освещения, три других – качественную.

Рассмотрим каждый из регламентируемых параметров.

1. Освещённость зоны выполнения зрительной задачи

Вместо общего освещения всего помещения, регламентируемого прежними нормами, теперь нормируется освещённость непосредственно в зоне выполнения зрительной задачи, т. е. на рабочем месте. Это может быть рабочий стол или только его часть. В зависимости от рода выполняемой работы освещённость в зоне выполнения зрительной задачи может быть от 200 до 750 лк. В ряде помещений освещение должно быть регулируемым (конференц-залы, переговорные комнаты и т. п.). В помещениях, где значительная часть сотрудников работает с компьютерами, нормируются максимальные значения яркости светильников, которые могут отражаться на экранах дисплеев. Для компьютеров старого поколения с экранами на электронно-лучевых трубках без антибликового покрытия эта яркость в пределах угла 65° не должна превышать 200 кд/м^2 , для компьютеров с жидкокристаллическими экранами или с антибликовым покрытием – 1000 кд/м^2 .

2. Освещённость в зоне непосредственного окружения

Вокруг зоны выполнения зрительной задачи располагается зона непосредственного окружения шириной 0,5 м. В этой зоне освещённость должна быть меньше, чем в рабочей, но не ниже 200 лк. При этом необходимо обеспечивать удовлетворительное распределение яркости в поле зрения. В зоне выполнения зрительной задачи соотношение минимальной и средней освещённости должно быть не менее 0,7, а в зоне непосредственного окружения – не менее 0,5.

3. Обобщённый показатель дискомфорта

Для оценки психологического дискомфорта вводится обобщённый показатель UGR, который рассчитывается по приводимой в нормах EN 12464-1 формуле. Этот показатель зависит от параметров светильника, общей освещённости помещения, геометрических размеров помещения, положения светильников относительно преимущественной линии зрения. Для большинства офисных помещений обобщённый показатель дискомфорта не должен превышать 19, для приёмных комнат – 22, для архивов – 25.

4. Общий индекс цветопередачи

Для всех помещений с длительным пребыванием людей новые Европейские нормы требуют применения источников света с общим индексом цветопередачи R_a не ниже 80. Это значит, что для освещения таких помещений недопустимо использование стандартных люминесцентных ламп, у которых R_a не превышает 70.

5. Пульсации светового потока (освещённости)

В нормах EN 12464-1 сказано, что пульсации освещённости на рабочих местах с длительным пребыванием людей не допускаются. Из-за этого требования становится невозможным применение люминесцентных ламп со стандартными электромагнитными ПРА, кроме вариантов включения ламп по схеме «с расщеплённой фазой» или включения соседних светильников в разные фазы сетевого напряжения.

Освещённость контролируемых поверхностей при визуальном и измерительном контроле должна быть достаточной для надежного выявления дефектов, но не менее 500 Лк.

Контрольные вопросы

1. Световые приборы, как правило, испускают:
 - а) монохроматическое излучение;
 - б) излучение с прерывистым спектром;
 - в) излучение, имеющее непрерывный спектр;
 - г) и «а», и «б».

2. Световая отдача современных газоразрядных ламп достигает значений ... лм/Вт при сроке службы около ... тыс. ч:
 - а) 50, ...5;
 - б) 50, ...15;
 - в) 100, ...5;
 - г) 100, ...15.

3. Лазеры представляют собой генераторы оптического излучения, которое обладает такими свойствами, как:
 - а) широкой направленностью;
 - б) высокой степенью монохроматичности;
 - в) «а» и «б»;
 - г) ни «а», ни «б».

Глава 3
**ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ. ПРИЕМНЫЕ УСТРОЙСТВА.
ОПТИЧЕСКИЕ ДЕФЕКТОСКОПЫ**

3.1. Микроскопы

Микроскоп применяют для получения больших увеличений при наблюдении мелких предметов. Увеличенное изображение предмета в микроскопе получается с помощью оптической системы, состоящей из двух короткофокусных линз – объектива O_1 и окуляра O_2 (рис. 35). Объектив даст действительное перевернутое увеличенное изображение предмета. Это промежуточное изображение рассматривается глазом через окуляр, действие которого аналогично действию лупы. Окуляр располагают так, чтобы промежуточное изображение находилось в его фокальной плоскости. В этом случае лучи от каждой точки предмета распространяются после окуляра параллельным пучком.

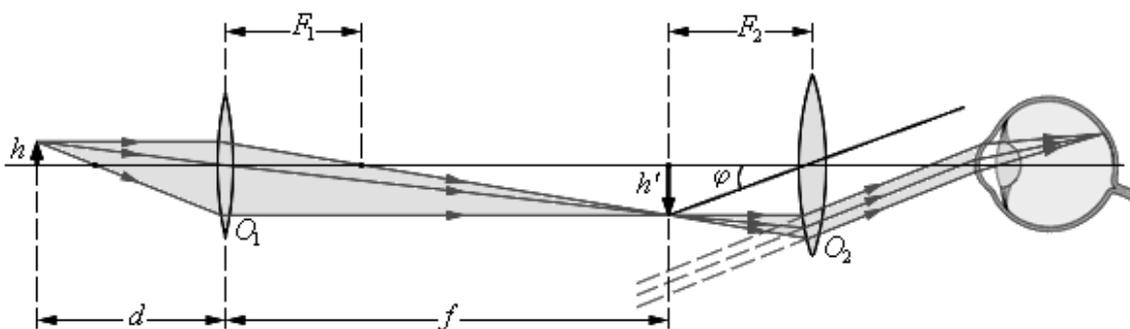


Рис. 35. Ход лучей в микроскопе

Мнимое изображение предмета, рассматриваемое через окуляр, всегда перевернуто. Если же это оказывается неудобным (например, при прочтении мелкого шрифта), можно перевернуть сам предмет перед объективом. Поэтому угловое увеличение микроскопа принято считать положительной величиной.

Как следует из рис. 35, угол зрения предмета φ , рассматриваемого через окуляр в приближении малых углов,

$$\varphi = \frac{h'}{F_2} = \frac{fh}{dF_2}.$$

Приближенно можно положить $d \approx F_1$ и $f \approx l$, где l – расстояние между объективом и окуляром микроскопа («длина тубуса»). При рассмотрении того же предмета невооруженным глазом

$$\psi = \frac{h}{d_0}.$$

В результате формула для углового увеличения микроскопа γ приобретает вид

$$\gamma = \frac{\phi}{\psi} = \frac{ld_0}{F_1F_2}.$$

Хороший микроскоп может давать увеличение в несколько сотен раз. При больших увеличениях начинают проявляться дифракционные явления.

У реальных микроскопов объектив и окуляр представляют собой сложные оптические системы, в которых устранены различные аберрации.

3.2. Приемные устройства

Световые измерения выполняют с помощью специальных приборов – фотометров, визуальных (зрительных) и физических (чаще фотоэлектрических), где в качестве приемника излучения используют соответственно или глаз, или какой-либо физический приемник. Фотометр представляет собой прибор для измерения фотометрических (светотехнических) величин. К фотометрам относятся измерительные приборы или установки. В фотометрии применяются, в основном, фотометрические приемники.

Изобретение многоэлементных твердотельных фотоприёмников вызвало революцию в телевидении. Использование десятилетиями отлаженной технологии производства полупроводниковых приборов обеспечило высокую надёжность, стабильность параметров и низкую цену светочувствительных матриц. Это повлекло за собой массовое внедрение телекамер на их основе в индустрию безопасности.

3.2.1. ПЗС-матрицы

В последнее время развитие получили матричные фотоприёмники с координатной адресацией, но пока ПЗС – самый массовый класс твердотельных фотоприёмников.

ПЗС-матрица или CCD-матрица (сокр. от англ. CCD, «Charge-Coupled Device») – специализированная аналоговая интегральная микросхема, состоящая из светочувствительных фотодиодов, выполненная на основе кремния, использующая технологию ПЗС – приборов с зарядовой связью. ПЗС-матрицы выпускаются и активно используются компаниями Nikon, Canon, Sony, Fuji, Kodak, Matsushita, Philips и многими другими. Светочувствительность матрицы складывается из светочувствительности всех её фотодатчиков (пикселей) и в целом зависит:

- от интегральной светочувствительности, представляющей собой отношение величины фотоэффекта (в миллиамперах) к световому потоку (в люменах) от источника излучения нормированного спектрального состава;
- монохроматической светочувствительности – отношения величины фотоэффекта к величине световой энергии излучения (в миллиэлектронвольтах), соответствующей определённой длине волны;
- набор всех значений монохроматической светочувствительности для выбранной части спектра света составляет спектральную светочувствительность – зависимость светочувствительности от длины волны света.

Устройство одного пикселя матрицы

Архитектура пикселей у производителей разная. Пример субпикселя ПЗС-матрицы с карманом n-типа показан на рис. 36.

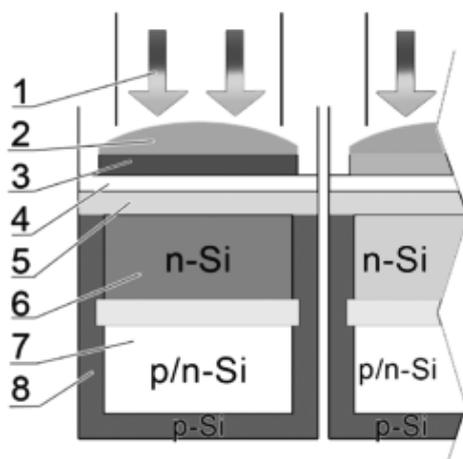


Рис. 36. Схема субпикселей ПЗС-матрицы с карманом n-типа (на примере красного фотодетектора):

1 – фотоны света, прошедшие через объектив фотоаппарата; 2 – микролинза субпикселя; 3 – R – красный светофильтр субпикселя, фрагмент фильтра Байера; 4 – прозрачный электрод из поликристаллического кремния или сплава индия и оксида олова; 5 – оксид кремния; 6 – кремниевый канал n-типа (зона генерации носителей – зона внутреннего фотоэффекта); 7 – зона потенциальной ямы (карман n-типа), где собираются электроны из зоны генерации носителей; 8 – кремниевая подложка p-типа

Физические принципы работы ПЗС-матрицы

Упрощенно прибор с зарядовой связью можно рассматривать как матрицу близко расположенных конденсаторов со структурой металл–диэлектрик–полупроводник. В качестве полупроводника в ПЗС обычно используется кристаллический кремний, а в качестве изолятора – оксиды кремния. Поэтому такую структуру называют «металл–окисел–полупроводник» (МОП). С физической точки зрения, ПЗС интересны тем, что электрический сигнал в них представлен не током или напряжением, как в большинстве других твердотельных приборах, а зарядом. При соответствующей последовательности тактовых импульсов напряжения на электродах МОП-конденсаторов зарядовые пакеты можно переносить между соседними элементами прибора.

На рис. 37 показана структура одного элемента линейного трехфазного ПЗС в режиме накопления. Структура состоит из слоя кремния *p*-типа (подложка), изолирующего слоя (диоксид кремния) и набора пластин – электродов. Один из электродов смещен более положительно, чем остальные два, и именно под ним происходит накопление заряда.

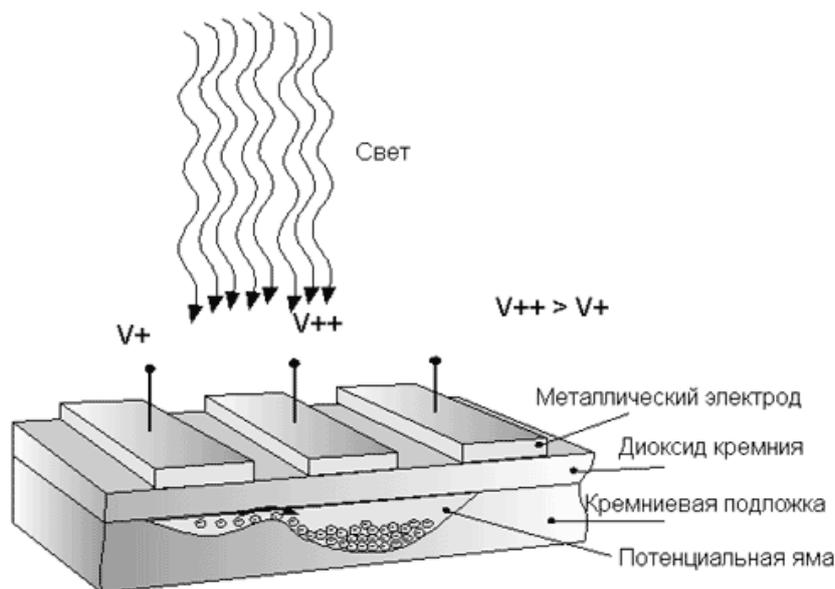


Рис. 37. Структура элемента ПЗС

Если подать небольшой положительный потенциал на один из электродов ячейки трехфазного ПЗС, а два других электрода оставить под нулевым потенциалом относительно подложки, то под положительно смещенным электродом образуется потенциальная яма. Когда кремнием поглощается фотон, то генерируется пара носителей заряда – электрон и дырка. Электростатическое поле в области элемента вытесняет «дырку» в глубь кремния, а электроны накапливаются в по-

тенциальной яме под электродом, к которому подведен положительный потенциал. Здесь они могут храниться достаточно длительное время, поскольку дырки в обедненной области отсутствуют и электроны не рекомбинируют. Заряд, накопленный под одним электродом, в любой момент может быть перенесен под соседний электрод, если его потенциал будет увеличен, в то время как потенциал первого электрода будет уменьшен (рис. 38). Если все три электрода элемента ПЗС находятся под нулевым потенциалом, то накопление генерированных светом электронов не происходит.

Генерирование зарядов в фотоприёмнике происходит не только под воздействием света, но и вследствие воздействия температуры. Темновой ток в полупроводниковых фотоприёмниках экспоненциально зависит от температуры и при большом времени накопления для его подавления требуется понижение температуры кристалла. Современный уровень технологии ПЗС позволяет реализовать в охранных телевизионных системах время накопления до секунды (без охлаждения).

Перенос в трехфазном ПЗС можно выполнить в одном из двух направлений – влево или вправо, причем все зарядовые пакеты линейки элементов будут одновременно переноситься в одну и ту же сторону.

Двухмерный массив (матрицу) элементов получают с помощью стоп-каналов, разделяющих электродную структуру ПЗС на столбцы. Стоп-каналы – это узкие области, которые формируются специальными технологическими приемами в приповерхностной области и препятствуют растеканию заряда под соседние столбцы.

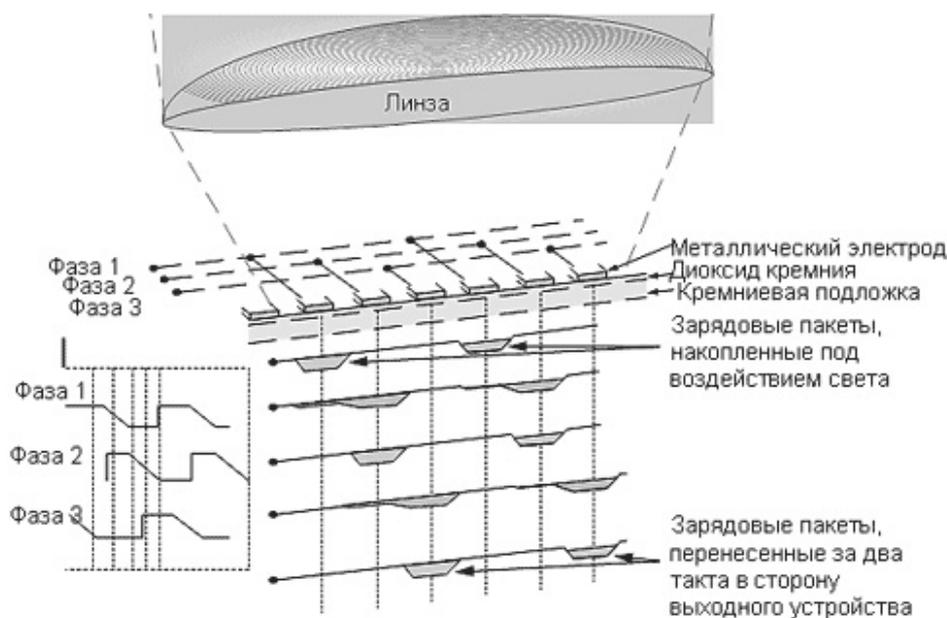


Рис. 38. Перенос зарядов в приборе с зарядовой связью

Большинство типов ПЗС-матриц массового применения состоят из двух областей – области накопления и области хранения. Ниже рассмотрены особенности реализации развёртки изображения в матрицах ПЗС различной топологии:

- с кадровым переносом (КП);
- строчным переносом (СП);
- строчно-кадровым переносом (СКП).

Микролинза субпикселя

Буферные регистры сдвига на ПЗС матрице, равно как и обрамление КМОП-пикселя на КМОП-матрице «съедают» значительную часть площади матрицы, в результате каждому пикселю достаётся лишь 30 % светочувствительной области от его общей поверхности. У матрицы с полнокадровым переносом эта область составляет 70 %. Именно поэтому в большинстве современных ПЗС-матриц над пикселем устанавливается микролинза. Такое простейшее оптическое устройство покрывает большую часть площади ПЗС-элемента и собирает всю падающую на эту часть долю фотонов в концентрированный световой поток, который, в свою очередь, направлен на довольно компактную светочувствительную область пикселя.

Поскольку с помощью микролинз удаётся гораздо полнее регистрировать падающий на сенсор световой поток, по мере совершенствования технологии ими стали снабжать не только системы с буферизацией столбцов, но и матрицы с полнокадровым переносом.

3.2.2. Основные элементы пленочной (аналоговой) фотографии

Фотографируемый объект, изображение которого при помощи фотообъектива фокусируется на фокальную поверхность – светочувствительный материал, представляющий собой прозрачную пленку, покрытую эмульсионным слоем галоида серебра.

Падающий свет – электромагнитные лучи (состоящие из фотонов), которые вступают в химическую реакцию с кристаллами галоида серебра и формируют изображение, в специальных условиях проявляемое и закрепляемое с помощью реактивов.

Фотокамера имеет механический затвор (металлический или тканевой занавес либо пластинки, которые быстро открываются и закрываются для управления временем выдержки/экспозиции изображения на пленке), с помощью которого регулируется время съемки (выдержка), то есть величина засветки кристаллов серебра.

Диафрагма — устройство в объективе, состоящее из лепестков и регулирующее просвет объектива, что позволяет управлять засветкой пленки.

Поворотные лимбы — системы на корпусе аппарата, предназначенные для установки времени экспозиции, чувствительности пленки, выбора режимов съемки, диафрагмы и т. д.

В объективах имеются поворотные диафрагменные кольца для управления параметрами вручную, хотя на сегодняшний день практически вся оптика снабжена режимом автоматической настройки.

В настоящее время фотоаппараты настолько усовершенствованы, что зачастую процесс съемки сводится к выбору сцены, момента съемки и нажатию на спусковую кнопку.

Фотографические материалы, светочувствительные материалы, применяемые в фотографии и кинематографии для получения фотографических изображений, реактивы для их химической обработки и вспомогательные материалы

Светочувствительные материалы состоят из укрепленного на подложке тонкого эмульсионного слоя или из бесподложечных слоев для регистрации заряженных частиц высоких энергий. По химическому составу эти материалы делятся на серебросодержащие, в которых в качестве светочувствительного компонента используются различные галогениды серебра и их смеси (главным образом AgBr), и бессеребряные, с применением соединения железа, хрома, diaзосоединения и др. Бессеребряные материалы отличаются очень низкой светочувствительностью и применяются лишь для получения позитивов, главным образом в светокопировальном процессе. По виду подложки, на которой укреплен эмульсионный светочувствительный слой, различают бумагу фотографическую (глянцевая, матовая и др. сорта бумаги), пластинки фотографические (силикатное или органическое стекло) и плёнки кино- и фотографические (триацетат целлюлозы или различные синтетические полимерные плёнки).

Фотореактивы применяются для превращения скрытого фотографического изображения в видимое или для улучшения качества последнего. Для этой цели используют проявители фотографические, фиксажи, иногда называемые закрепителями, и дубящие вещества. Улучшить качество изображения удаётся при обработке светочувствительных фотографических материалов ослабителями или усилителями. Применение некоторых неорганических кислот и их солей даёт возможность придать позитивам нужную однотонную окраску. В некото-

рых операциях, например усилении и тонировании черно-белых изображений, используют отбеливающие вещества.

К вспомогательным фотографическим материалам относятся специальная свето- и влагозащитная бумага для упаковки светочувствительных фотографических материалы, клеи для склеивания киноплёнки и для наклеивания фотобумаги на различные материалы, покровные лаки для защиты позитивов на керамике и металле от вредного влияния атмосферы.

Фотографическая эмульсия, традиционное название суспензий светочувствительных микрокристаллов галогенидов серебра («зёрен»), равномерно распределённых в желатине или др. защитном коллоиде (производные целлюлозы, альбумин, поливиниловый спирт и др.). Фотографической эмульсией называют также сухой светочувствительный слой, представляющий собой плёнку сухого геля желатины с содержащимися в ней микрокристаллами галогенида серебра, которые находятся в фотографической эмульсии в виде кристаллов правильной кубической или кубооктаэдрической формы с размерами 0,01...0,02 мкм (особомелкозернистая ядерная фотографическая эмульсия), 0,2...0,3 мкм (высокочувствительные фотографические эмульсии) и более 0,5 мкм (рентгенографические эмульсии). С увеличением размера микрокристаллов светочувствительность фотографической эмульсии возрастает, однако увеличивается также зернистость. Для придания фотографической эмульсии необходимых свойств в них вводят дубители (ацетат хрома, хромокалиевые квасцы и др., см. Дубление фотографическое), пластификаторы (глицерин, этиленгликоль), спектральные сенсibiliзирующие красители (обычно полиметиновые), стабилизаторы (производные триазаиндолина и др.), антиокислители (пирокатехин), антисептики (фенол, хлоркрезол), антивуалирующие вещества (бромид калия и др.) и поверхностно-активные вещества. Применение указанных добавочных веществ позволяет получать фотографические эмульсии для изготовления большого ассортимента фотографических материалов, различающихся по общей и спектральной чувствительности, градационным и структурометрическим параметрам.

Плёнка кино- и фотографическая, светочувствительные материалы, состоящие из прозрачной эластичной подложки (основы) с нанесённым на неё светочувствительным слоем

По назначению плёнки делят на негативные, позитивные и обращаемые. Подложку толщиной 0,11...0,14 мм изготавливают из высокопрочного, но легко воспламеняющегося динитрата целлюлозы или менее проч-

ного негорючего триацетата целлюлозы, а толщиной 0,06...0,08 мм из высокопрочного и негорючего полиэтилентерефталата. Подложка негативных плёнок может быть серой или фиолетовой – для поглощения света и предупреждения образования ореолов при его отражении, иногда на плёнку наносится противоореольный слой. Эмульсионный слой состоит из желатины с равномерно распределёнными в ней микрокристаллами (0,2...1,0 мкм) галогенидов серебра. Толщина эмульсионного слоя чёрно-белых пленок 15...20 мкм, цветных – до 35 мкм.

По фотографическим свойствам различают плёнку общего и специального назначения. Первую группу составляют черно-белые и цветные плёнки для художественной и документальной фотографии, чувствительные ко всем видимым лучам и различающиеся по светочувствительности (от 22 до 350 единиц ГОСТ). Обычно большей светочувствительности соответствует меньшая контрастность и большая зернистость. Эти плёнки выпускают в катушках шириной 16, 35 и 60 мм различной длины.

Во вторую группу входят плёнки для кинематографии (негативные, позитивные, контратипные и фонограммные) и технические фотографии (репродукционные, аэрофотоплёнки, рентгеновские, спектральные и др.). Для любительской кинематографии выпускают обращаемые черно-белые и цветные плёнки шириной 8 и 16 мм в катушках по 10...15 м. Для профессиональной кинематографии производят черно-белые изопанхроматические и цветные (для дневного света и света ламп накаливания) плёнку шириной 16, 35 и 70 мм в рулонах длиной до 300 м. Они обладают различной светочувствительностью и могут применяться как фотоплёнки общего назначения. Фототехнические плёнки для репродуцирования выпускаются в виде плоских листов, для микрофильмирования – в рулонах шириной 35 мм. Разрешающая способность последних (в линиях на 1 мм) обычно указывается в названии, например «Микрат-200», «Микрат-300». Плоские рентгеновские плёнки предназначены для медицинских целей (марки «РМ») и для структурного анализа (марки «РС»). Все плёнки имеют светонепроницаемую упаковку.

При обработке плёнок водой или фотографическими растворами эмульсионный слой набухает; при повышении температуры до 37...40 °С может расплавиться и сползти с подложки, поэтому обработка плёнок ведётся ниже указанных температур.

Бумага фотографическая – светочувствительный материал, состоящий из бумажной основы (подложки) и нанесённого на неё светочувствительного эмульсионного слоя.

Этот слой представляет собой суспензию микрокристаллов галогенидов серебра (размером от 0,5 до 0,01 мкм и менее) в водном растворе желатины. Эмульсию наносят тонким слоем на подложку и сушат до воздушно-сухого состояния. Толщина сухого слоя 10...15 мкм. В зависимости от типа бумаги фотографической эмульсию наносят или непосредственно на бумагу-сырец, или на бумажную подложку с предварительно нанесённым баритовым слоем. Этот слой состоит из микрочастиц сульфата бария с желатиной в качестве связующего.

Бумагу фотографическую (черно-белую и цветную) подразделяют на 2 группы: общего назначения и техническую. Первая группа предназначена для любительской, профессиональной и художественной фотографии; вторая — для фотографических работ в различных областях техники.

Бумагу фотографическую общего назначения делят на бумагу для проекционной и контактной печати, а техническую — для съёмки, регистрации, копирования. По характеру поверхности бумага фотографическая общего назначения бывает глянцевая, полуматовая и матовая; по градации — мягкая (№ 1), нормальная (№ 2 и 3), контрастная (№ 4 и 5) и особо контрастная (№ 6 и 7); по плотности (толщине) фотоподложки — картон (240 г/м²), полукартон (180 г/м²) и тонкие (135 г/м²); по микрорельефу поверхности — гладкие, структурные (тиснёные); по цвету фотоподложки — белые и кремовые. По виду упаковки бумагу фотографическую общего назначения делят на рулонные и форматные (от 6×9 до 50×60 см), в пакетах (пачках) по 10, 20, 50 и 100 листов.

Техническая фотографическая бумага более разнообразна по свойствам (светочувствительности и градации) и назначению. Она делится на регистрирующую (высокочувствительную) — осциллографную, электрокардиографную, фототелеграфную, для скоростного копирования документации — фотостатную, рефлексную, фотокальки (на прозрачной подложке), бумаги «Технокопир» и «Контакт».

Бумагу фотографическую техническую производят в основном на тонкой фотоподложке (80...100 г/м²) в рулонах шириной от 36 до 1000 мм и в листах различного формата.

Бумага фотографическая цветная предназначена для контактной и проекционной печати цветных фотографий с цветных негативов.

Глаз и чувствительность пленки

Глаз весьма чутко реагирует на изменение условий освещенности и приспособляется к ним, чего о фотопленке не скажешь. Человек видит цвета наиболее полно при ярком свете. Если освещенность слабая, весь мир предстает в черных, белых и серых тонах. Когда совсем темно, вы постепенно «привыкаете к темноте» — сетчатка глаза повышает свою чувствительность в сотни раз. Чувствительность пленки такой гибкостью не отличается. Однако, в отличие от глаза, пленка способна накапливать свет, что позволяет при длительном экспонировании преодолеть проблемы, связанные со слабым освещением. Пленка усиливает контраст между светлыми и темными частями кадра. Если в солнечный день вы находитесь в комнате, ярко освещенный пейзаж за окном виден с той же четкостью, что и более затемненный интерьер комнаты. Охватить такой диапазон пленке не под силу. Вам придется выбирать — при четкой передаче интерьера вид за окном окажется слишком вялым и бледным; если вы предпочитаете точное изображение вида за окном, комната окажется практически черной. Можете представить, какова будет реакция пленки, если, полузакрыв глаза, смотреть сквозь ресницы.

Пленка не обладает светочувствительностью сетчатки, не способна она и, как мозг, интерпретировать увиденное. Глаз одинаково хорошо функционирует в полумраке или при ярком солнечном свете. Но никакая пленка не в состоянии справиться с таким диапазоном силы света. Поэтому она имеет разную чувствительность — параметр, который характеризует восприимчивость ее к свету. Высокочувствительные пленки требуют меньше света, чтобы запечатлеть изображение, поэтому ими можно пользоваться в условиях относительно слабого освещения; низкочувствительная пленка обычно используется при сильном и ярком свете. При съемке на цвет вам придется принять во внимание и цветовую характеристику источника освещения. Если, к примеру, вы делаете цветной снимок при искусственном освещении, а пленка предназначена для съемки на открытом воздухе, снимок получится слегка красноватым. Пленка фиксирует тот факт, что искусственный источник света содержит больше красных лучей по сравнению с естественным.

3.3. Оптические дефектоскопы

При визуальном контроле далеко расположенных поверхностей, например, отливок, изделий аэрокосмической техники широко используются телескопические системы (лупы, бинокли и т. п.). В телескопических системах все предметы кажутся приближенными к наблюдателю, а само пространство изображений – сжатым в направлении линии наблюдения.

Гибкие телескопические приборы включают в себя наборы оптических (стеклянных) волокон. К ним относятся волокна, имеющие световедущую жилу из прозрачного материала с высоким показателем преломления, и оболочку из материала с меньшим показателем преломления.

Для контроля прецизионных изделий типа фотошаблонов применяют телевизионные системы (ТВМ) и фотоэлектрические (ФЭМ) микроскопы, имеющие высокое пространственное разрешение (до 0,01 мкм при полях зрения порядка 0,1 мм). Для измерений средней точности используют измерительные микроскопы различных конструкций оптико-механического типа.

Среду с меньшим абсолютным показателем преломления называют оптически менее плотной.

При переходе света из оптически более плотной среды в оптически менее плотную $n_2 < n_1$ (например, из стекла в воздух) можно наблюдать явление полного отражения, то есть исчезновение преломленного луча. Это явление наблюдается при углах падения, превышающих некоторый критический угол $\alpha_{\text{пр}}$, который называется предельным углом полного внутреннего отражения (рис. 39).

Для угла падения $\alpha = \alpha_{\text{пр}}$ $\sin \beta = 1$ значение $\sin \alpha_{\text{пр}} = n_2/n_1 < 1$.

Если второй средой является воздух ($n_2 \approx 1$), то формулу удобно переписать в виде

$$\sin \alpha_{\text{пр}} = 1/n,$$

где $n = n_1 > 1$ – абсолютный показатель преломления первой среды.

Для границы раздела стекло–воздух ($n = 1,5$) критический угол равен $\alpha_{\text{пр}} = 42^\circ$, для границы вода–воздух ($n = 1,33$) – $\alpha_{\text{пр}} = 48,7^\circ$.

Явление полного внутреннего отражения находит применение во многих оптических устройствах. Наиболее интересным и практически важным применением является создание волоконных световодов, которые представляют собой тонкие (от нескольких микрометров до миллиметров) произвольно изогнутые нити из оптически прозрачного ма-

териала (стекло, кварц). Свет, попадающий на торец световода, может распространяться по нему на большие расстояния за счет полного внутреннего отражения от боковых поверхностей (рис. 40). Научно-техническое направление, занимающееся разработкой и применением оптических световодов, называется волоконной оптикой.

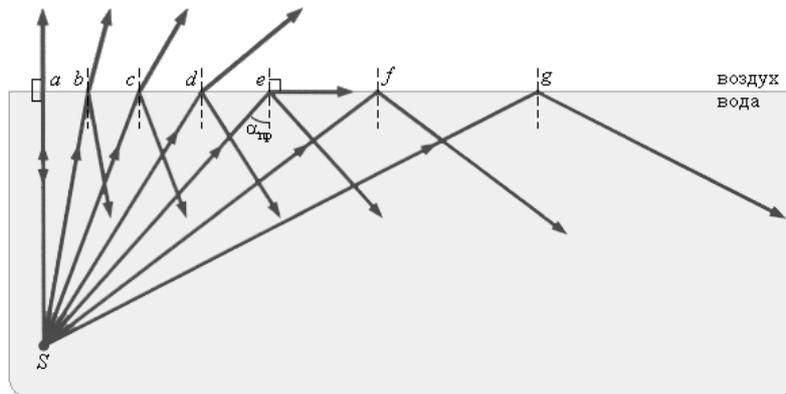


Рис. 39. Полное внутреннее отражение света на границе вода–воздух;
 S – точечный источник света

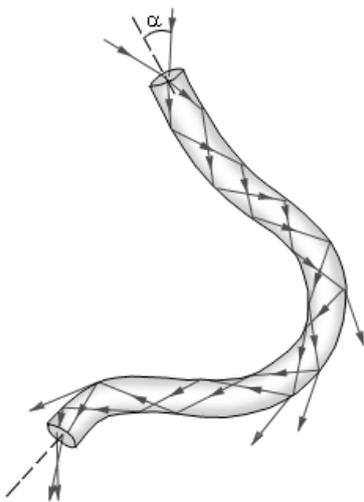


Рис. 40. Распространение света в волоконном световоде. При сильном изгибе волокна закон полного внутреннего отражения нарушается, и свет частично выходит из волокна через боковую поверхность

Оптическая система простейшего эндоскопа состоит из телескопической системы и плоского зеркала или призмы, размещаемых перед объективом и отклоняющих лучи на определенный угол. Наклоняя зеркало (призму), можно изменять угол отклонения лучей. При этом, если положение зеркала изменяется на угол φ , лучи света отклоняются на угол 2φ .

Визуальный НК основных материалов, сварных соединений и изделий проводится невооруженным глазом или с применением оптических приборов: луп, микроскопов и визуально-оптических приборов для контроля удаленных или скрытых объектов – эндоскопов, перископических дефектоскопов, зеркал, зрительных труб и др.

Из всего многообразия эндоскопов, борооскопов, фиброскопов, цистоскопов, гастроскопов и т. д. выделим термин эндоскоп как определяющий. В переводе с греческого *endos* – внутри и *scoreo* – рассматривать. Эндоскопы разделяются на гибкие и жесткие. Борооскоп (*boroscope*) в иностранной литературе – это либо общее название эндоскопов, либо название жестких эндоскопов. Фиброскоп, флексоскоп – англоязычные названия гибких эндоскопов от *fiber* – волокно, *flexible* – гибкий. Все остальные – это названия медицинских приборов, имеющих в своем составе эндоскоп и предназначенных для конкретных целей: гастроскоп – осмотр желудка, бронхоскоп – осмотр бронхов и т. д. Поэтому применять в технике подобные названия некорректно, при том, что часто разные названия подразумевают один и тот же эндоскоп, но с разным дополнительным оборудованием.

3.3.1. Жесткие эндоскопы

Предназначены для визуального контроля узлов, к которым возможен прямолинейный доступ (особенно, когда эндоскопический контроль запланирован на стадии проектирования изделия). Жесткие эндоскопы используются для осмотра газовой воздушного тракта авиадвигателей, полостей машин и механизмов, пустот в стенах зданий, каналов и труб малого диаметра, полостей отливок, шлифовальных и хонингованных отверстий.

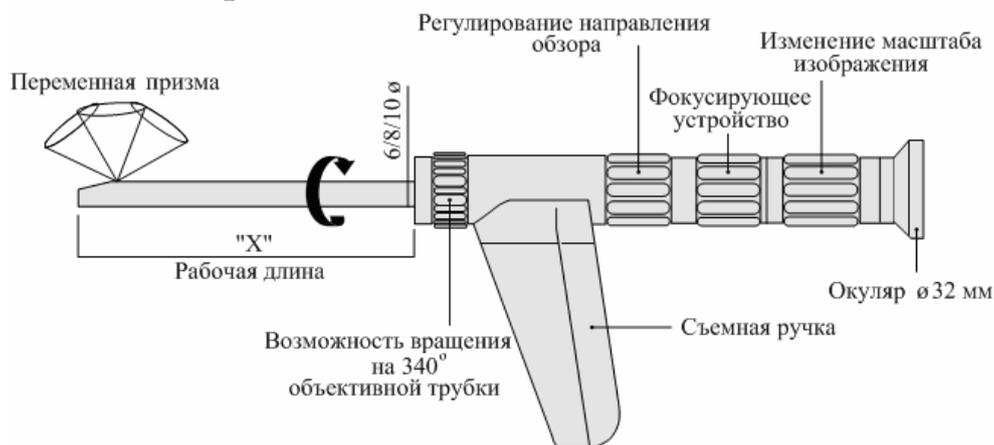


Рис. 41. Жесткий эндоскоп с качающейся призмой

Жесткий эндоскоп (оптическая трубка) состоит из визуальной и осветительной системы. Визуальная система состоит из линзовой, стержневой или градиентной оптики, которая заключена во внутреннюю металлическую трубку. Осветительная система состоит из оптического волокна, которое расположено между двумя металлическими трубками: наружной и внутренней.

Жесткие эндоскопы характеризуются четырьмя основными параметрами: диаметром рабочей части, длиной рабочей части, углом направления наблюдения и углом поля зрения.

Наиболее распространенные диаметры рабочей части: 1,7; 2; 2,7; 4; 6; 8 и 10 мм. Длина жестких эндоскопов обычно варьируется в пределах от 100 до 1000 мм и изменяется с шагом 200...300 мм. Основные углы направления наблюдения 0, 30, 45, 75, 90 и 110°. Угол направления наблюдения может быть и плавно изменяемым в эндоскопах с качающейся призмой – от 30 до 110°. Угол поля зрения, как правило, варьируется от 50 до 90°, при этом необходимо учитывать, что увеличение поля зрения приводит к уменьшению детализации, т. е. можно видеть много и мелко или мало и крупно.

Основное преимущество жестких эндоскопов – высокая разрешающая способность – до 25 линий на миллиметр.

3.3.2. Гибкие эндоскопы

Не всегда возможен прямой доступ к объекту или сам объект имеет сложную геометрию, например, газотурбинные, электрические двигатели, турбогенераторы, котлы, теплообменники, трубы водоснабжения, канализации, промышленные коммуникации. В этом случае для визуального контроля применяются гибкие эндоскопы.

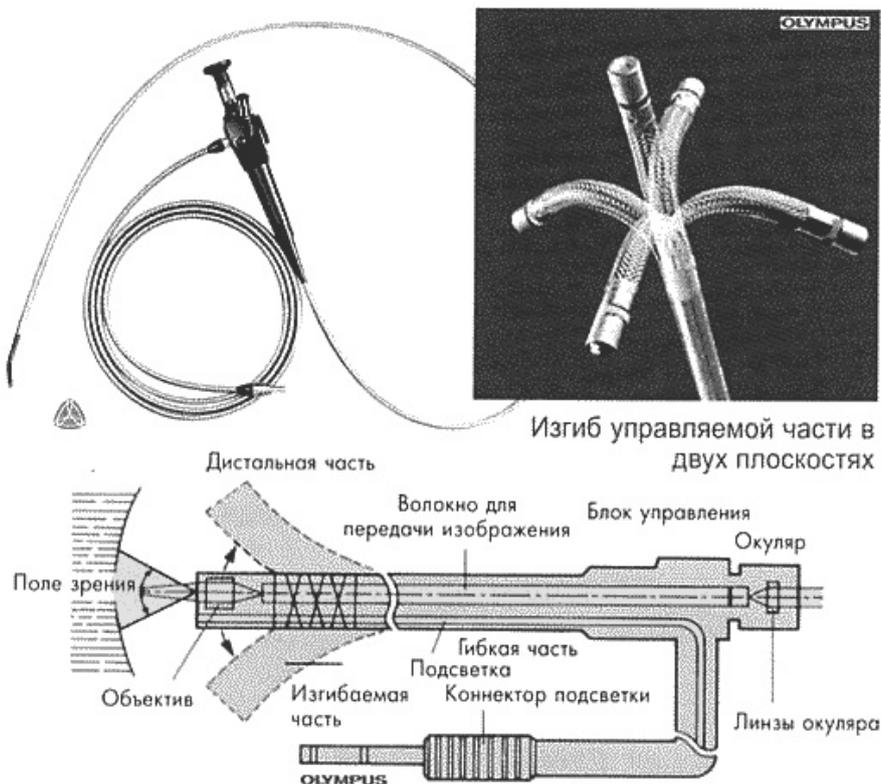


Рис. 42. Гибкие эндоскопы

В гибких эндоскопах визуальная система и система передачи света состоят из волоконной оптики, смонтированной внутри гибкой трубки с управляемым дистальным концом.

Канал для передачи изображения представляет собой линзовый объектив, который строит изображение исследуемого объекта на торце кабеля передачи изображения. Далее изображение передается по кабелю, состоящему из большого числа волокон толщиной 10...12 мкм. Расположение торцов волокон на входе кабеля точно должно соответствовать их расположению на выходе, т. е. должна быть регулярная укладка. Изображение, полученное на конце кабеля, рассматривается через окуляр, имеющий диоптрийную подвижку для подстройки под глаза.

Канал для передачи света представляет собой, как правило, светорассеивающую линзу, клеенную в головку прибора, световолоконный жгут с нерегулярно уложенными волокнами толщиной 25 мкм. Конец световолоконного жгута вмонтирован с специальным наконечником, подключающийся к осветителю.

Гибкие эндоскопы имеют управляемый дистальный конец, изгибающийся в одной или двух плоскостях. Как правило, это определяется диаметром рабочей части. Обычно в эндоскопах малого диаметра (6 мм и менее) изгиб осуществляется в одной плоскости, а в более крупных — в двух. В эндоскопах различных производителей угол изгиба бывает от 90 до 180°. К тому же эндоскопы могут комплектоваться насадками или объективами бокового наблюдения. Это важно, если есть необходимость осматривать, например, стенки труб малого диаметра, где изгиб дистального конца невозможен.

Эндоскопы могут иметь канал для гибкого инструмента при необходимости осуществления манипуляций, например, захвата предметов, взятия пробы и т. д.

Основным недостатком гибких эндоскопов по сравнению с жесткими является более низкая разрешающая способность.

При выборе гибкого эндоскопа руководствуются двумя основными параметрами: диаметром и длиной рабочей части. Наиболее распространены диаметры 4, 6, 8 и 10 мм. В последнее время ведущие производители предлагают гибкие эндоскопы с диаметром рабочей части от 0,5 до 2 мм. Длины рабочей части изменяются от 500 до 3000 мм с шагом, как правило, 500 мм. Угол поля зрения составляет 50...60°, при необходимости он может быть увеличен до 90...100°.

Обычно гибкие эндоскопы имеют герметичную маслобензостойкую рабочую часть с покрытием из нержавеющей стали.

Видеоэндоскопы

Гибкие волоконно-оптические эндоскопы имеют ряд недостатков, наиболее существенные из которых — невысокая разрешающая способность и ограничение по длине, определяемые волокном передачи изображения. Модернизация или, точнее, замена в системе передачи изображения гибкого эндоскопа волоконно-оптического жгута на электронику позволила повысить разрешающую способность приборов и увеличить их длину и привела к появлению видеоэндоскопов. Изображение в них через объектив попадает на ПЗС-матрицу, затем сигнал по кабелю передается в блок преобразования и выводится на монитор.

В настоящее время в мире производятся видеоэндоскопы с диаметрами рабочей части 6, 8, 10, 12, 16 и 20 мм и длиной от 2 до 30 м.

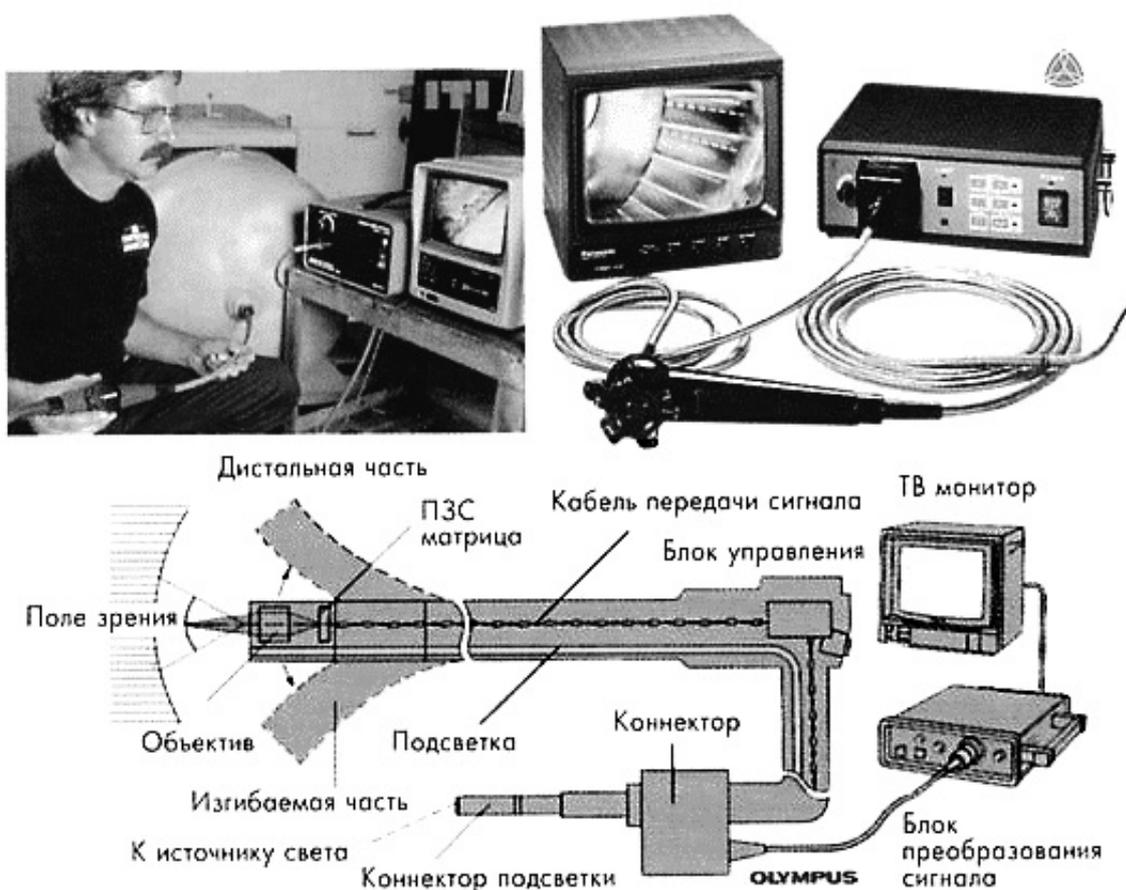


Рис. 43. Видеоэндоскоп

Для качественного визуального контроля объектов необходимо иметь их хорошее освещение. В эндоскопах для этой цели служит система передачи света, работающая совместно с мощным источником, называемым осветителем.

Осветители в зависимости от типа лампы, галогенные, металлогалоидные и ксеноновые.

В галогенных осветителях, как правило, используют 100- или 150-ваттные галогенные лампы. Основное их преимущество – дешевизна. Недостатки – высокое энергопотребление при относительно невысоком световом потоке, малый срок службы лампы (порядка 50 часов) и смещенный в желтую область спектр.

Металлогалоидные осветители имеют 24-ваттную лампу. Они значительно дороже галогенных, однако обладают рядом достоинств: низкое энергопотребление при световом потоке, сравнимом с 200-ваттной галогенной лампой, длительный срок службы лампы – 600...800 часов; спектр приближенный к естественному белому свету. Данные осветители являются наиболее предпочтительными для применения с техническими эндоскопами.

Ксеноновые осветители – наиболее мощные осветительные системы, но и самые дорогие. Они находят небольшое применение.

3.3.3. Эндоскопические видеосистемы

Эндоскопические видеосистемы предназначены для вывода изображения на монитор и документирования результатов контроля. Они используются с жесткими и гибкими волоконно-оптическими эндоскопами.

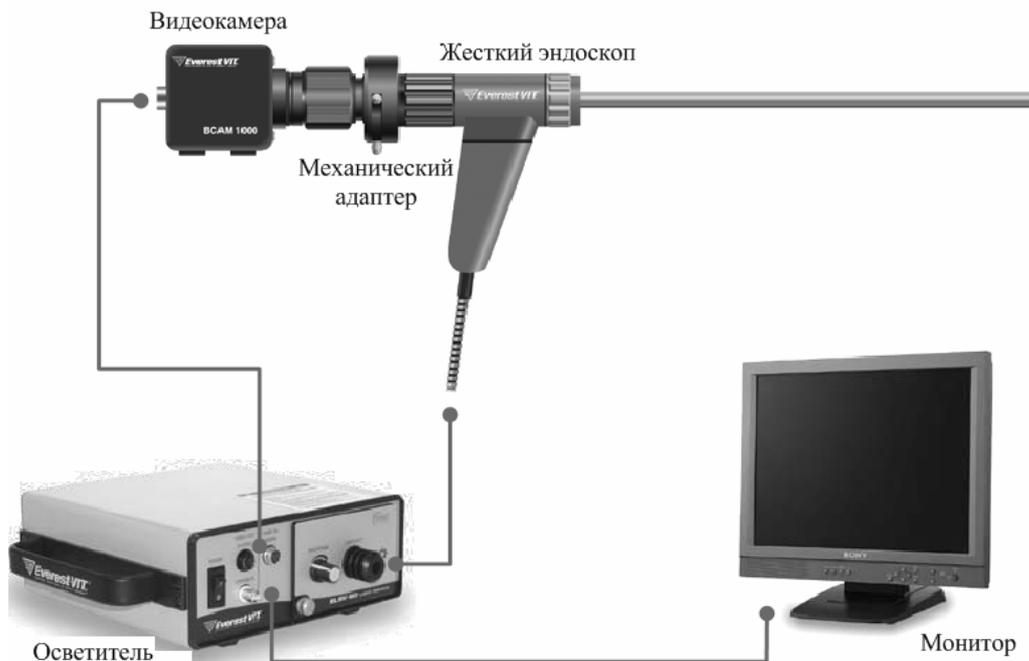


Рис. 44. Видеосистема с жестким эндоскопом

В общем случае видеосистема состоит из оптико-механического адаптера с видеокамерой, присоединяемого к окуляру эндоскопа, блока управления и монитора. В некоторых случаях блок управления может отсутствовать. Вместо монитора возможно использование бытового телевизора или компьютера с устройством ввода–вывода видеосигнала. Видеокамеры, в зависимости от решаемых задач, изготавливаются черно-белые или цветные. Как правило, все они имеют разрешающую способность порядка 470 ТВ линий (S-VHS).

3.4. Методы измерения геометрических элементов изображения и дефектов в оптических видеосистемах

Система Everest XLG3™ VideoProbe® является усовершенствованным гибким эндоскопом на основе видеоизображений, используемых для дистанционного визуального контроля. Работая посредством ввода через отверстия для осмотра, система XLG3 обеспечивает получение изображений с высоким разрешением внутренних видов газотурбинных двигателей, авиационных конструкций, автомобильных двигателей, трубопроводов, резервуаров, коробок подачи ветряных двигателей, подводных конструкций и прочее.

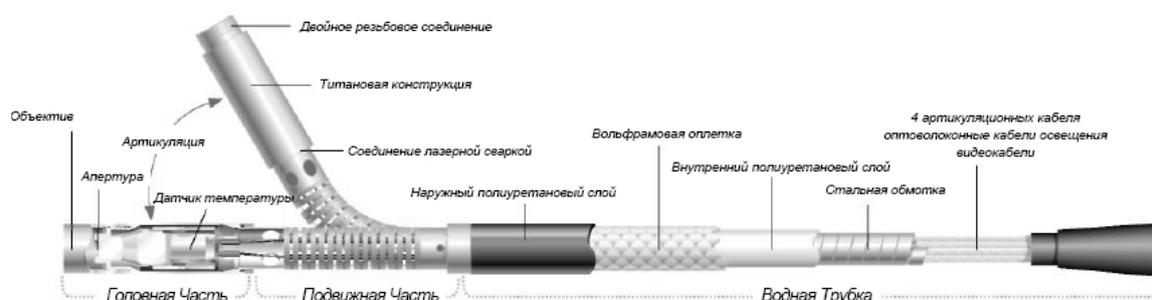


Рис. 45. Видеозонд системы Everest XLG3

Волоконно-оптический пучок зонда (рис. 45) освещает участок контроля с помощью света, формируемого дуговой лампой в 75 Вт с разрядом высокой интенсивности НID (High-Intensity Discharge), установленной в основании прибора. В конце зонда миниатюрная камера преобразовывает изображение в электронное изображение и передает его через зонд обратно в прибор. Эта система воспроизводит изображение на экране портативного дисплея с органами управления. Никакой фокусировки не требуется, так как система XLG3 имеет оптическую систему с большой глубиной резкости.

Система XLG3 совместима с различными съемными устройствами хранения данных: DVD, картами памяти для подключения к компьютеру, картами памяти цифрового фотоаппарата, портативными накопителями — с любым совместимым устройством, основывающимся на технологии USB или PCMCIA.

Система оснащена измерительными средствами — оптическими наконечниками, с помощью которых можно измерять дефекты и геометрические элементы изображения (детали конструкции).

Система Everest XLG3 поддерживает методы измерений (табл. 10), каждый из которых имеет свои особенности.

Таблица 10

Особенности методов измерений, поддерживаемых системой XLG3

Особенность	Метод		
	Теневой	Стерео	Сравнения
Длина/дистанция	Да	Да	Да
Глубина	Да	Да	Нет
Расстояние от точки до линии	Да	Да	Да
Наклон	Да	Да	Нет
Область	Да	Да	Да
Длина множества участков	Да	Да	Да
Круг	Да	Нет	Да
Окно масштабирования 3 ^x	Да	Да	Да
5 измерений на изображении	Да	Да	Да

Визуально-оптический контроль помимо эндоскопического осмотра внутренних поверхностей объектов контроля дает возможность достоверно оценивать размеры найденных дефектов в широком диапазоне ракурсов их наблюдения: длину, ширину, глубину/высоту, площадь, периметр, длину ломаной линии, профиль поперечного сечения дефекта. Для определения размера дефекта на объективе может быть нанесена прозрачная шкала, а к шкале придана переводная таблица, позволяющая по числу делений по шкале и расстоянию от проверяемого участка до точки излома оптической оси эндоскопа измерить дефект. На рис. 46 приведена картина изображения дефектов поверхности (раковины) на фоне измерительной шкалы.



Рис. 46. Вид в окуляре эндоскопа

Существует также другие методы измерения геометрических элементов изображения и дефектов:

- стереоскопический;
- теневой;
- сопоставительный (метод сравнения).

Для этих методов измерений требуется использование специальных измерительных наконечников, входящих в комплектацию видеоэндоскопов.

Каждый из методов обладает рядом преимуществ и недостатков (табл. 11). Выбор метода осуществляется в зависимости от конфигурации объекта контроля, возможности доступа к нему, требуемой точности проведения контроля, вида контролируемого параметра (длина, ширина, высота и т. д.), наличия эталонов.

Таблица 11

Преимущества и недостатки эндоскопических методов измерений размеров дефектов

Тип измерения	Преимущества	Недостатки
Stereo	<p>Перед сопоставительными измерениями:</p> <ul style="list-style-type: none"> • более высокая точность; • не требуется известный эталон; • возможно измерение глубины; • поверхность не должна быть перпендикулярной к линии визирования зонда. <p>Перед теневыми измерениями:</p> <ul style="list-style-type: none"> • поверхность не должна быть перпендикулярной к линии визирования зонда 	<p>Система может быть не в состоянии точно позиционировать курсоры при наличии следующих условий на участке измерения:</p> <ul style="list-style-type: none"> • недостаточное число геометрических элементов; • повторяющиеся узоры; • блики; • гладкие прямые линии вдоль направления измерения. <p>В некоторых случаях возможно устранение проблемы путем перемещения наконечника зонда и регулировки яркости (в противном случае рекомендуется использовать теневой метод измерения).</p>

Тип измерения	Преимущества	Недостатки
Shadow	<p>Перед сопоставительными измерениями:</p> <ul style="list-style-type: none"> • более высокая точность; • не требуется известный эталон; • возможно измерение глубины; • возможно измерение расстояния вдоль искривленной поверхности. <p>Перед стереоскопическими измерениями:</p> <ul style="list-style-type: none"> • более хорошая различимость контуров высоты и глубины; • возможность измерять вдоль гладких прямых линий. 	<p>Для точного измерения поверхность изделия должна быть почти перпендикулярной линии визирования зонда (за исключением «косых» измерений).</p> <p>Трудности, связанные с видением и размещением тени.</p>
Comparison	<p>Перед теневыми и стереоскопическими измерениями:</p> <ul style="list-style-type: none"> • возможность использования стандартного оптического наконечника; • возможность измерения наконечником зонда, удаленным на большое расстояние; • возможность измерения объектов больших размеров; • возможность быстрой проверки приближенного размера многих элементов. 	<p>Менее точное, чем теневое или стереоскопическое измерение.</p> <p>Отсутствие известных эталонов или трудности в их доставке к месту измерения.</p> <p>Для получения точного измерения поверхность изделия должна быть почти перпендикулярной линии визирования зонда</p>

3.4.1. Стереоскопический метод

Стереонаблюдение – естественный метод дистанционного определения размеров (рис. 47). Расстояние до объекта и его размеры определяются по смещению изображений, проецируемых правым и левым объективами на матрицу ПЗС. Анализируя взаимное расположение проекций, система решает тригонометрическую задачу и определяет координаты объекта относительно эндоскопа.

Стереоизмерительная система не имеет жестких ограничений по расположению эндоскопа относительно объекта. В отличие от других методов, в которых при замере необходимо строго перпендикулярное

наблюдение, данная система работает при любом ракурсе наблюдения, под любым углом к объекту. Это позволяет существенно увеличить точность и упростить процедуру измерений.

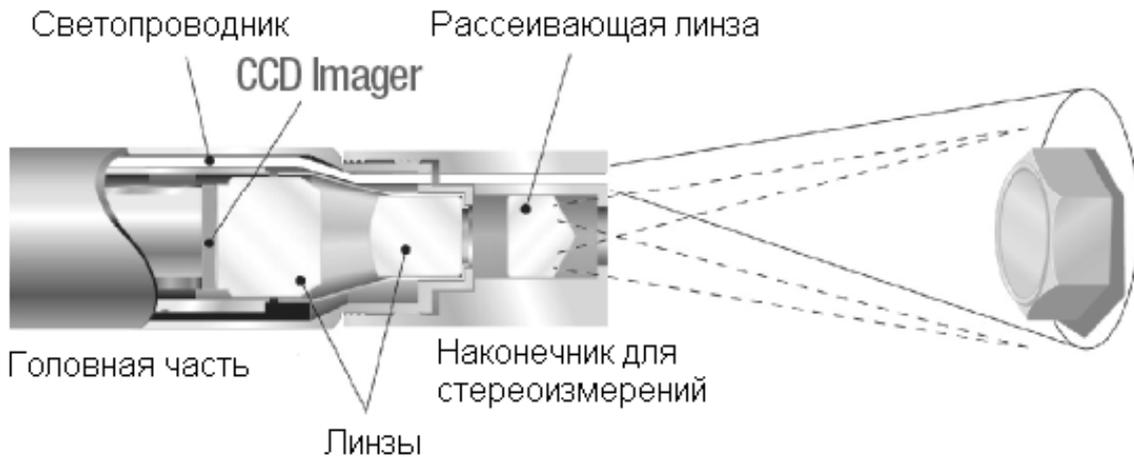
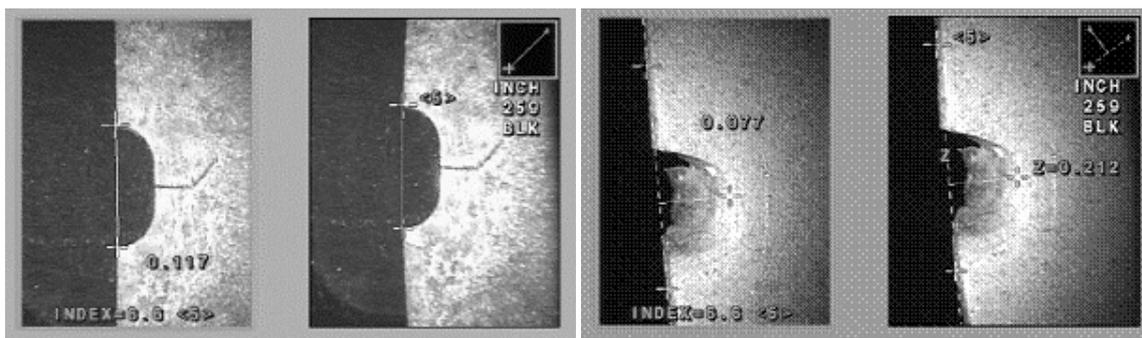


Рис. 47. Технология стереоизмерений

Система сама распознает координаты точек, видимых левым и правым объективами. Стереоизмерительная система позволяет определять расстояние между любыми двумя точками на видимой поверхности объекта. Измерение глубины и высоты дефектов можно проводить как с боковым, так и с торцевым дистальными адаптерами. Для измерений глубины дефектов в трубах малого диаметра другие методы требуют использования адаптера бокового обзора, что не всегда удобно. Стереоизмерительная система более универсальна. Даже при использовании адаптера прямого обзора диапазон углов наблюдения позволит измерять глубину или высоту дефекта, сохраняя удобство ориентации внутри трубы. Другой особенностью обычных методов эндоскопических измерений является необходимость наложения различных шкал, сеток и штрихов на изображение дефекта. Эта процедура, требующая незаурядного мастерства и времени, исключена при использовании стереоизмерительной системы.

Для стереоскопических измерений требуется использование измерительных наконечников, с помощью которых получают стереоскопические изображения целей — двух изображений одной и той же цели под двумя разными углами. Для измерения цели процессор видеоэндоскопа использует триангуляцию на основе двух таких расположенных друг возле друга изображений.



a

б

*Рис. 48. Примеры стереоскопических измерений с помощью видеоскопа:
а – измерение длины; б – измерение расстояния от точки до линии*

Особенности системы стереоскопических измерений:

- точность измерений изогнутых и косых краев;
- высокая степень достоверности согласования в системе с помощью курсора «match strength» («коэффициент согласования, соответствия»);
- 5 типов измерений: длина, глубина, кратчайшее расстояние от точки до линии, площадь, посегментное измерение длины.

3.4.2. Теневой метод

Принцип теневых измерений состоит в отбрасывании тени вытравленной линии на измерительном наконечнике на исследуемую поверхность, и измерении расположения тени в поле зрения (рис. 49 и 50). При уменьшении расстояния от наконечника до объекта тень движется с права налево через изображение (при обычном размещении), и измерение поперечного расположения тени дает расстояние до объекта. Затем пользователь располагает два курсора поверх изображения для считывания размеров несплошностей. Точность измерений составляет $\pm 10\%$ и в идеальных условиях может быть $\pm 2\%$. Теневой метод может работать на перекошенных (несимметричных) изображениях, но при условии, что измерения делаются вдоль линии отбрасываемой тени.

Особенности системы теневых измерений:

- точная технология измерения для скривленных и скошенных краев;
- измерение любой точки при выполнении условия перпендикулярности линии визирования зонда к поверхности;
- 7 типов измерений: линейное (расстояние между двумя точками), в наклонной плоскости, глубина, кратчайшее расстояние от точки до линии, площадь, посегментное измерение длины, измерение с помощью эталонной окружности.

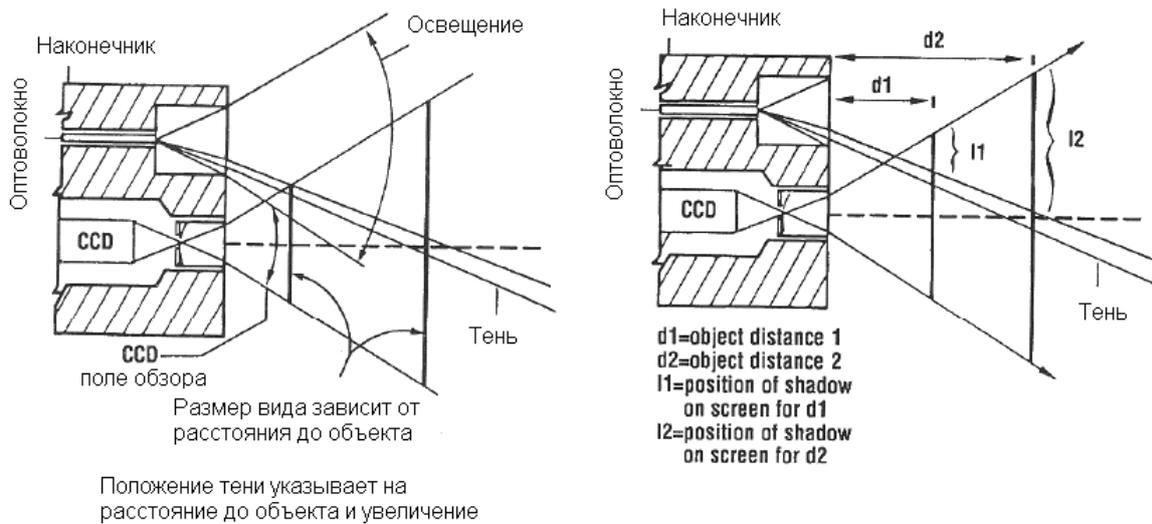


Рис. 49. Схема принципа теневого метода

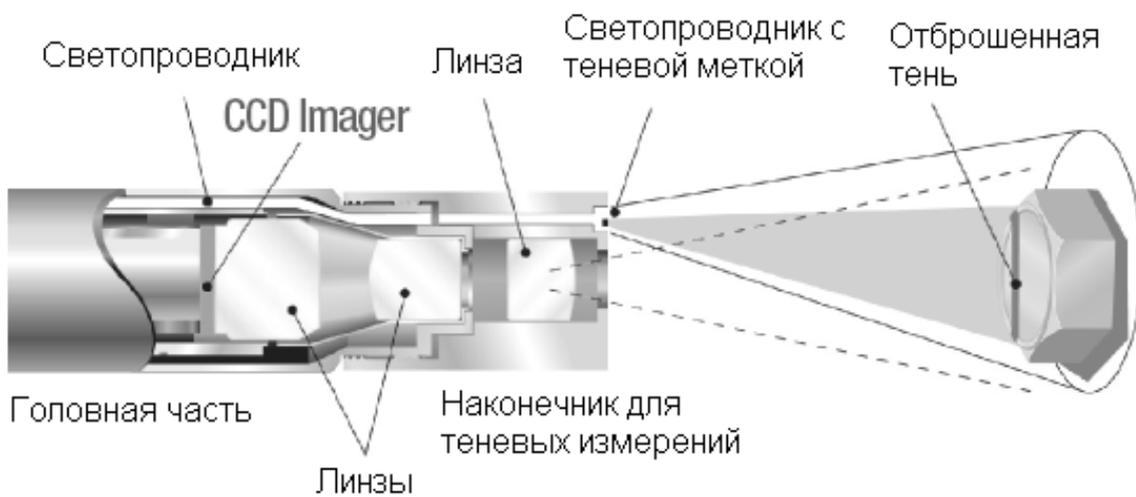


Рис. 50. Технология теневых измерений

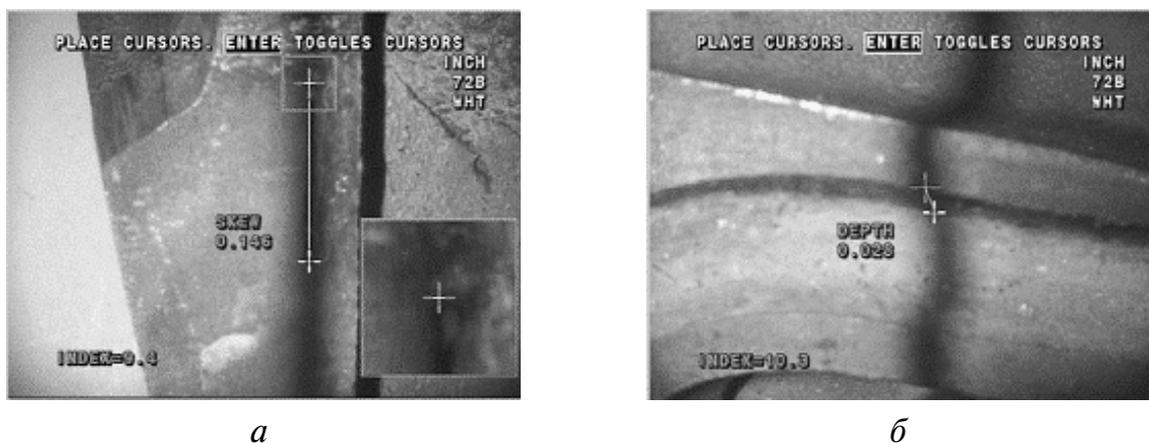


Рис. 51. Примеры теневых измерений с помощью видеоэндоскопа:
а – измерение в наклонной плоскости с помощью увеличения; б – измерение глубины

3.4.3. Метод сравнения



Рис. 52. Пример сопоставительных измерений

Сопоставительные измерения основываются на известных размерах объекта, который был установлен в поле зрения изготовителем или вводится с зондом. Процессор системы видеоэндоскопа использует известные размеры объекта в качестве опорной шкалы для измерения неизвестной цели.

Особенности системы сопоставительных измерений:

- измерение даже без наконечников для стерео- и теневых измерений;
- 5 типов измерений: длина, посегментное измерение длины, площадь, кратчайшее расстояние от точки до линии, измерение с помощью эталонной окружности [9].

3.5. Измерительные микроскопы

Микроскопы в измерительных приборах делятся на визирные, служащие для совмещения визирных сеток с заданными точками измеряемого объекта, расположенного на близком расстоянии (в предметной плоскости), и отсчетные — для точного отсчета по линейным и круговым шкалам.

В качестве примера рассмотрим одну из простейших оптических измерительных схем. Длина элемента малого объекта измеряется при помощи визирного измерительного микроскопа (рис. 53).

Измерение есть процесс сравнения измеряемой физической величины (в явной или неявной форме) с единицей этой величины, хранимой применяемым средством измерения. В приведенной схеме измерительный микроскоп хранит единицу измеряемой величины (пространственной протяженности или длины) в виде отградуированных делений точно изготовленной шкалы. Единицей длины в принятой у нас метрической системе является метр. Измерительная шкала за счет ее изготовления обеспечивает точное воспроизведение долей метра — миллиметров и их долей.

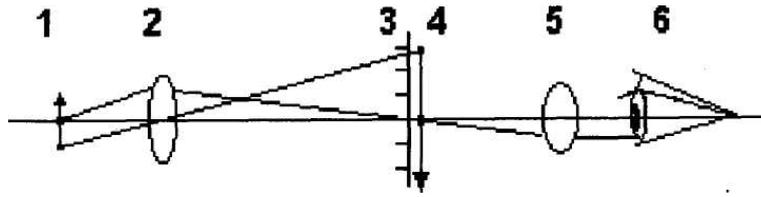


Рис. 53. Схема визирного измерительного микроскопа:

1 – объект, 2 – объектив микроскопа, 3 – измерительная шкала, совмещенная с плоскостью изображения объекта, 4 – изображение объекта, 5 – окуляр, 6 – глаз оператора измерений

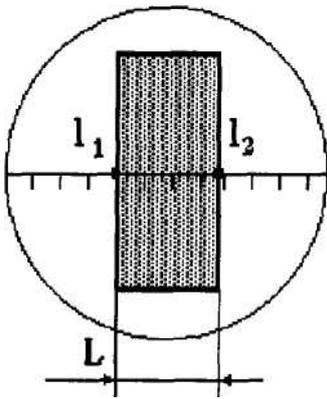


Рис. 54. Измерение протяженности между точками объекта

В измерительных микроскопах увеличение больше нормального нецелесообразно. Это объясняется тем, что ошибка измерения величины объекта значительно больше, чем ошибка наводки микроскопа на точки объекта даже при малом увеличении.

Итак, пользуясь измерительной шкалой (окуляр – микрометром), совмещенной с изображением объекта, мы считываем протяженность между интересующими нас точками объекта (например, l_1 и l_2 , рис. 54). Паспортной характеристикой микроскопа служит поперечное увеличение V в получаемом изображении объекта.

В данном примере можно проследить все указанные в обобщенной схеме этапы оптического измерения:

- объектив микроскопа 2 строит увеличенное изображение объекта 1 (этап 1);
- координаты точек изображения, связанные с требуемыми точками объекта измеряются при помощи шкалы (этап 2);
- результаты измерения получают (этап 3) обработкой измерительных отсчетов для определения протяженности объекта $L_{об}$ с учетом паспортной характеристики (увеличения V) объектива микроскопа:

$$L_{об} = (l_2 - l_1)/V,$$

погрешности определяют обработкой серии измерительных отсчетов (данных) с применением аппарата математической статистики (этап 4).

Перед измерением с любым отсчетным устройством устанавливается цена деления шкалы K , отнесенная к пространству предметов. Микроскоп фокусируют на резкое изображение объект-микрометра (очень мелкая шкала, состоящая из 100 делений с ценой деления

0,01 мм) и определяют, сколько делений m_1 , в изображении объект-микрометра соответствует определенному числу делений m_2 окулярного микрометра

$$K = 0,01m_1/m_2.$$

3.5.1. Универсальный измерительный микроскоп УИМ

Универсальный измерительный микроскоп предназначен для измерения длин, углов и профилей изделий. Методы измерений – проекционный и осевого сечения.

Пределы измерения длин: • в продольном направлении; • в поперечном	200 мм 100 мм
Цена наименьшего деления отсчетного микроскопа со спиральным нониусом	0,001 мм
Предел измерения углов	360°
Цена наименьшего деления штриховой окулярной головки	V
Увеличение главного микроскопа	10...50 ^x
Поле зрения главного микроскопа	4,2...21 мм
Увеличение отсчетного микроскопа	62 ^x
Увеличение угломерного микроскопа	45 ^x
Поворот колонки	±2°30'

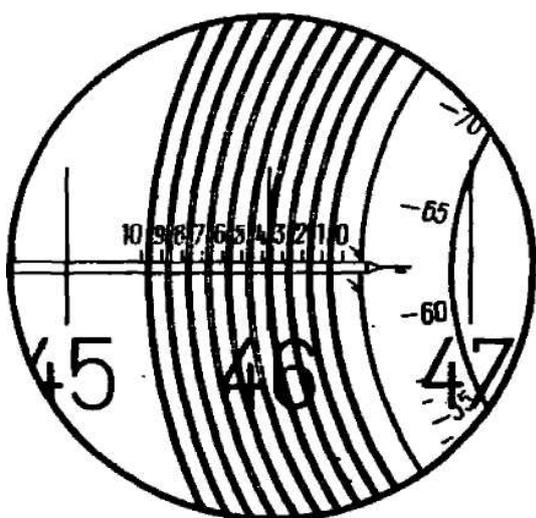


Рис. 55. Чтение показаний

Для отсчета перемещения служат стеклянные миллиметровые шкалы продольного и поперечного хода и отсчетные микроскопы со спиральными нониусами. Целые и десятые доли миллиметра определяются оцифрованным миллиметровым штрихом в зоне шкалы десятых долей миллиметра, установленном посередине двойного штриха спирали. Сотые и тысячные доли миллиметра определяются отсчетным индексом по круговой шкале.

Пример.

Миллиметровый штрих 46 (рис. 55) находится в зоне шкалы десятых долей миллиметра между цифрами 3 и 4. Отсчетный индекс находится в зоне круговой шкалы возле цифры 62.

Отсчет 46,362 мм.

3.5.2. Измерительные микроскопы серии МС

Современные модульные измерительные микроскопы серии МС состоят из высококачественных компонентов, точных двухкоординатных столиков и надежных и прочных штативов. Измерительные микроскопы серии МС поставляются с электронными цифровыми микрометрами для измерения по двум или трем осям (опция).

Тринокулярная насадка – для подключения 35 мм фотокамер, видеокамер, цифровых камер и цифровых фотокамер для фото- и видеодокументации.

Микрометры Mitutoyo Digimatic имеют серийный выход для передачи данных статистического контроля технологических процессов на компьютер. Системы серии МС поставляются с осветителями падающего или проходящего света. Предназначены для проведения визуального контроля и измерения мелких объектов. Не требуют сложной настройки системы.

Модель МС-50

Измерительный микроскоп отраженного света с тринокулярной насадкой с деполяризатором.

Окуляры: один фокусируемый HWF10^x-F с перекрестием и установочным винтом, один с вынесенным фокусом HWF10^x.

Объективы: S Planachromat M5^x, M10^x, M20^x, M40^x «на бесконечность».

Фокусирующий блок с коаксиальными рукоятками грубой и точной фокусировки с револьвером на 4 объектива.

Столик для измерения в отраженном свете 150×150 мм с двухкоординатным перемещением 50×50 мм с держателями для цифрового микрометра.

Внешний источник света – галогеновая лампа 21 В 150 Вт.



Рис. 56. Измерительный микроскоп МС-50

3.6. Телескопы

Телескоп (от др. греч. — далеко + смотрю, наблюдаю) — астрономический прибор, который собирает и фокусирует световое излучение от астрономических объектов. Телескоп увеличивает видимый угловой размер и яркость наблюдаемых объектов.

В схему простейшего телескопа входят две положительные линзы (рис. 57). Лучи от удаленного предмета, параллельные оси телескопа (лучи a и c на рис. 57), собираются в заднем фокусе первой линзы (объектива). Вторая линза (окуляр) удалена от фокальной плоскости объектива на свое фокусное расстояние, и лучи a и c выходят из нее вновь параллельно оси системы. Некоторый луч b , исходящий не из тех точек предмета, откуда пришли лучи a и c , падает под углом α к оси телескопа, проходит через передний фокус объектива и после него идет параллельно оси системы. Окуляр направляет его в свой задний фокус под углом β .

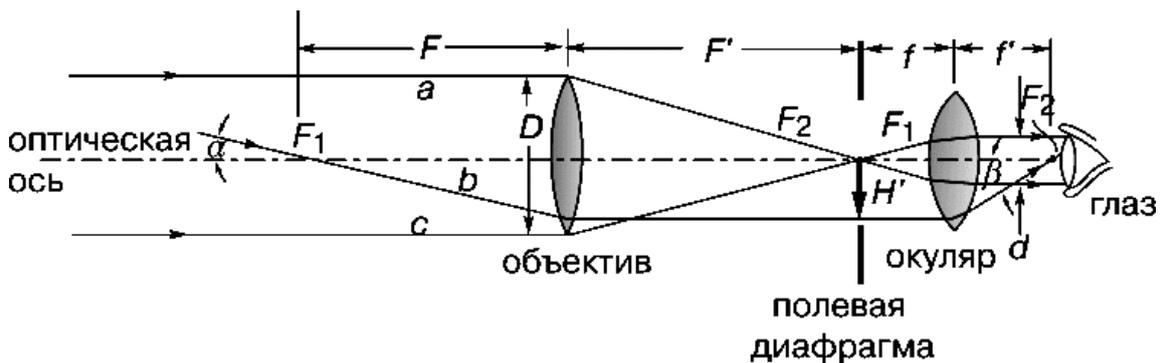


Рис. 57. Простой телескоп (оптическая схема)

В астрономических телескопах изображение перевернуто, в телескопах для наблюдений за наземными объектами применяют оборачивающую систему, чтобы рассматривать нормальные, а не перевернутые изображения. В оборачивающую систему могут входить дополнительные линзы или, как в биноклях, призмы.

Зрительная труба Галилея, предназначенная для земных наблюдений, дающая увеличенные прямые изображения. Окуляр в трубе Галилея служит рассеивающая линза.

В качестве объектива в больших астрономических телескопах применяются не линзы, а сферические зеркала. Такие телескопы называются рефлекторами. Хорошее зеркало проще изготовить, кроме того, зеркала в отличие от линз не обладают хроматической аберрацией.

У нас в стране построен самый большой в мире телескоп с диаметром зеркала 6 м. Следует иметь в виду, что большие астрономические телескопы предназначены не только для того, чтобы увеличивать угловые расстояния между наблюдаемыми космическими объектами, но и для увеличения потока световой энергии от слабосветящихся объектов.



*Рис. 58. Телескоп.
Увеличивает угол зрения
и собирает во много раз больше
света, чем глаз наблюдателя*

Принцип работы телескопа состоит в том, что он увеличивает угол зрения, под которым видны небесные тела, и собирает во много раз больше света, приходящего от небесного светила, чем глаз наблюдателя. В астрономии расстояние между небесными объектами измеряется углом, который образуют лучи, идущие из точки наблюдения к объектам. Это расстояние называется угловым расстоянием и измеряется в градусах и долях градуса. Глядя на небо невооруженным глазом, можно увидеть раздельно две звезды, если угловое расстояние между ними составляет не менее $1-2'$. А в крупные телескопы есть возможность наблюдать раздельно звезды, даже если угловое расстояние между ними составляет тысячные доли секунды.

Благодаря таким техническим возможностям в телескоп можно рассматривать детали поверхности множества небесных тел, планет, галактик и слабых звезд, которые невозможно наблюдать невооруженным глазом.

Конструктивно телескоп представляет собой трубу (сплошную, каркасную, ферму), установленную на монтировке, снабженной осями для наведения на объект наблюдения и слежения за ним. Визуальный телескоп имеет объектив и окуляр.

По своей оптической схеме телескопы делятся:

- на линзовые (рефракторы) собирающие излучение с помощью линз;
- зеркальные (рефлекторы) собирающие излучение с помощью зеркала;
- зеркально-линзовые телескопы;
- зеркально-линзовые телескопы — для опытных астрономов.



Рис. 59. Телескоп Meade системы Шмидт–Кассегрен

В зеркально-линзовых телескопах для проведения наблюдений используется комбинация зеркал и линз.

Зеркально-линзовые телескопы намного мощнее рефракторов и рефлекторов. Во-первых, эти телескопы обладают более высокой технической оснащённостью, способны производить наблюдения с большими возможностями и давать более четкое изображение. А во-вторых, они более компактны. Примерами зеркально-линзовых телескопов являются катадиоптрические телескопы Ньютона, телескопы Шмидта–Кассегрена и Максутова–Кассегрена.

3.7. Голографические методы контроля

Голография — это способ записи и восстановления всей оптической информации, пришедшей от объекта.

Голография является естественным продолжением интерферометрии. Высокая чувствительность и точность интерферометрических измерений, обусловлены малостью длины световой волны. Сами эти измерения производятся при наложении двух волн — от эталонного объекта (чаще всего с плоской или сферической зеркальной поверхностью) и от исследуемого и об отличиях формы этих объектов судят по густоте образующихся при наложении интерференционных полос — чем они гуще, тем больше отклонение, выраженное в длинах волн. Конечно, хотелось бы применить этот принцип и для сравнения предметов более сложной формы и с шероховатой поверхностью, но при этом получались бы слишком расходящиеся световые пучки и очень густые полосы.

Эта проблема была решена созданием голографии (от слов, означающих «полная» и «запись»), позволяющей практически полностью фиксировать и воспроизводить волновой фронт световой волны, рассеянной объектом (а не только распределение интенсивности света по плоскости, как в обычной фотографии).

Для того, чтобы понять принципиальную основу голографии, давайте проведем мысленный эксперимент, направив два когерентных пучка с плоским волновым фронтом под некоторым углом на одну и ту же поверхность светочувствительной среды (фотопластинку). Из-за интерференции на ее поверхности образуется интерференционная кар-

тина из темных и светлых полос одинаковой ширины, расстояние между которыми тем больше, чем меньше угол между пучками (сотни линий на мм при углах в 20...30°). Если фотопластинка обладает достаточной разрешающей способностью, то после соответствующей обработки на ней зафиксируется эта интерференционная картина в виде темных и светлых полос или в виде фазового рельефа — это и будет простейшая голограмма. Природа света такова, что при освещении этой пластинки, помещенной в том же месте, где она была записана, одним из лучей, участвовавших в ее записи (его поэтому называют опорным) в результате дифракции (вспомните, угол дифракции тем больше, чем меньше период дифракционной решетки), в виде одного из дифракционных порядков воспроизведется второй пучок. В этом смысле можно сказать, что дифракция и интерференция взаимно обратны (как дифференцирование и интегрирование), так что в результате их последовательного применения получается то же, что и было — тот же волновой фронт.

3.7.1. Голографическое оборудование

Голографические установки. В настоящее время используемые голографические установки можно разделить на две группы — стационарные лабораторные и специальные, позволяющие проводить исследования на действующем оборудовании или стендах. Конечно, за все надо платить, в том числе за высокую чувствительность голографических методов — достаточно высокой сложностью голографических установок (рис. 60).

Основу стационарной голографической установки составляет виброзащитная плита, на которой собирают оптическую схему и устанавливают исследуемый объект. Плиты голографических установок, на которых решаются задачи механики, как правило, изготавливают из металла с системой отверстий или пазов на рабочей поверхности для крепления элементов схемы и объекта исследования.



Рис. 60. Голографический испытатель шин HRT-220

Наиболее прогрессивной конструкцией плиты является сотовая, сочетающая в себе жесткость, виброустойчивость и малую массу. Такие плиты изготавливают из стали и алюминия длиной 10 м, что практически невыполнимо при применении любого другого способа изготовления.

Топографической плите необходима виброизоляция. Как уже упоминалось выше, положение полос регистрируемой на голограмме микроструктуры определяется фазами пучков, интерферирующих в плоскости регистрации. Изменение разности фаз пучков на величину порядка n в процессе экспозиции вызывает смазывание микроструктуры и резкую потерю качества голограммы, вплоть до исчезновения восстановленного изображения. Причиной изменения фазовых соотношений пучков, помимо изменений оптических свойств и положения исследуемого объекта, могут быть смещения и вибрации деталей голографической схемы, возникающие в них при воздействии внешних механических и акустических факторов.

Наличие вибраций в установке может контролироваться с помощью микроскопа от оптической скамьи типа ОСК, помещаемого в области расположения голограммы. Неподвижность структуры полос легко контролировать при совместном наблюдении полос и визирной шкалы. Если полосы смещаются, необходимо проконтролировать механическую стабильность отдельных элементов схемы.

Для устранения влияния вибраций на качество голограмм используются различного типа промышленные амортизаторы, автомобильные и самолетные камеры, резиновые маты и т. п.

Сборка оптических схем для получения голограмм производится с помощью различных зеркал, линз, делителей, объективов и других элементов. Коротко остановимся на некоторых из них.

Отражающая поверхность зеркал должна быть чистой и хорошего качества, чтобы не вводить в волновой фронт дополнительных искажений. На установке необходимо иметь комплект различных сферических и цилиндрических линз с различным фокусным расстоянием, которые используют для освещения исследуемых тел и формирования опорных волн.

В количественных измерениях перемещений использование коллимированного излучения (плоского волнового фронта) часто диктуется соображениями удобства расшифровки голографических интерферограмм.

Устройство коллиматора отличается от традиционного введением в фокус первой линзы точечной диафрагмы. Роль точечной диафрагмы заключается в пространственной фильтрации световых волн, дифрагированных на пылинках и неоднородностях в оптическом тракте, предшествующем выходному объективу коллиматора. Поскольку увеличение диаметра пучка в коллиматоре порядка 100, все неоднородности четко визуализируются в виде дифракционных зон, что нарушает про-

странственную однородность распределения интенсивности в пучках и меняет условия экспонирования голограммы в различных ее точках.

Обычно точечную диафрагму диаметром 20...30 мкм изготавливают из алюминиевой, никелевой или другой фольги толщиной 10...12 мкм и помещают в фокус первой линзы коллиматора (чаще всего микрообъектива). Для точного совмещения диафрагмы с фокальной точкой микрообъектива последний помещают на подвижной опоре, позволяющей перемещать его в направлении оси коллиматора, а диафрагму крепят на двухкоординатном трансляционном столике, позволяющем смещать ее в направлениях, ортогональных оси коллиматора. При правильной юстировке устройства из диафрагмы выходит идеальная сферическая волна, лишенная всяких следов аберраций оптической системы, формирующей пучок, интерференции, вызванной вторичными отражениями, а также дифракции на пылинках и дефектах оптики.

Естественно, что юстировка положения точечного отверстия должна быть произведена тщательно как в продольном, так и в поперечном направлениях. В противном случае большая часть энергии излучения будет задерживаться и не пройдет через отверстие.

Оптимальное соотношение между амплитудами опорной и освещающей объект волн, которое определяется характеристиками светоделителя, выбирают, исходя из светорассеивающих свойств изучаемого объекта и расстояния от объекта до голограммы. Чем меньше света рассеивается от объекта в сторону голограммы и чем больше расстояние до голограммы, тем большую часть энергии световой волны необходимо направить светоделителем в тракт предметного пучка.

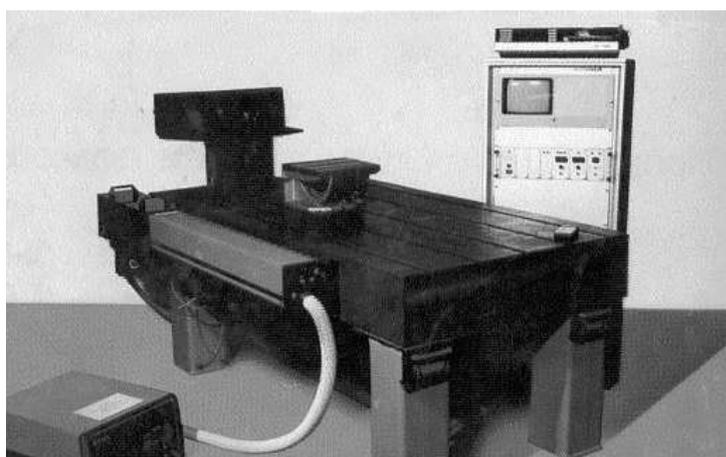
Обычно в качестве светоделителя используют плоскопараллельные и клиновидные стеклянные пластинки, на одну из граней которых нанесено диэлектрическое или металлическое отражающее покрытие с пропусканием порядка 0,3...0,7. Ясно, однако, что при изменении объектов исследования оптимальный светоделительный элемент должен иметь возможность перестройки, т. е. плавного изменения соотношения амплитуд волн, направляемых в предметный и опорный тракты. На практике удобно в качестве светоделителя использовать стеклянный клин без покрытия, приняв в качестве опорного один из отраженных им пучков. Отношение световых потоков в пучках при этом можно варьировать в широких пределах наклоном светоделительного клина, поскольку, как известно, френелевский коэффициент отражения существенно зависит от угла падения.

В схемах голографических интерферометров широко используют как деление по амплитуде, так и по фронту световой волны. При построении схем многопрограммных интерферометров эти два способа могут применяться одновременно.

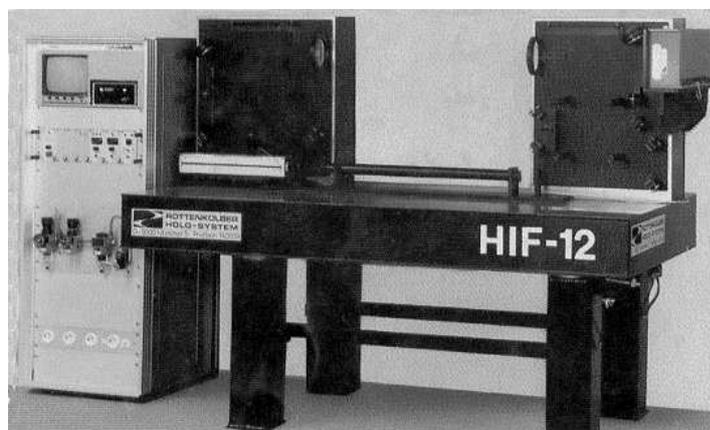
Формирование освещающего объекта пучка и опорной волны может производиться с помощью волоконной оптики.

Требования к постоянству температуры, влажности и стабильности элементов установки особенно жестки при получении отражательных трехмерных голограмм. За время экспозиции необходимо стабилизировать относительную влажность воздуха с точностью до долей процента, температуру до сотых долей градуса и тщательно изолировать топографическую установку и особенно фотопластинку от вибраций.

Выпускается ряд универсальных голографических установок. На этих установках можно проводить изучение деформирования объектов как при статическом, так и при динамическом нагружении. Из зарубежных установок следует выделить установки фирм Newport Corporation, Rot-tencolber Holo System, Labor, dr. Stein-bichler.



a



б

*Рис. 61. Универсальные голографические установки:
а – голо-анализатор НТ-80, б – голо-интерферометр*

Специальные топографические установки, которые часто называют топографическими камерами, играют все более важную роль при изучении деформаций элементов конструкций на действующем оборудовании.

В тех случаях, когда имеют место сильные вибрации и другие возмущения в голографических установках, используют импульсные лазеры. Использование двух импульсных лазеров с регулируемой задержкой между импульсами позволяет регистрировать высококачественные интерферограммы узлов действующего оборудования.

Специально разработанные методы компенсации перемещений исследуемых объектов во время голографирования позволяют использовать в голографических камерах лазеры непрерывного действия. Такие установки, смонтированные на испытательных машинах, дали возможность регистрировать поля перемещений образцов с целью определения механических свойств материалов и изучения концентраций деформаций.

В последнее время за рубежом разработаны термопластические материалы, чувствительные к лазерному излучению. Для этих материалов характерен тепловой механизм визуализации скрытого изображения, не требующий фотохимической обработки. Голограмму проявляют простым нагревом термопластика непосредственно на месте экспонирования, что существенно повышает производительность контроля. Однако применение термопластиков требует применения лазеров сравнительно большой мощности (около 1 Вт), например аргоновых. Наблюдения голограмм производится визуально или с помощью телевизионных установок.

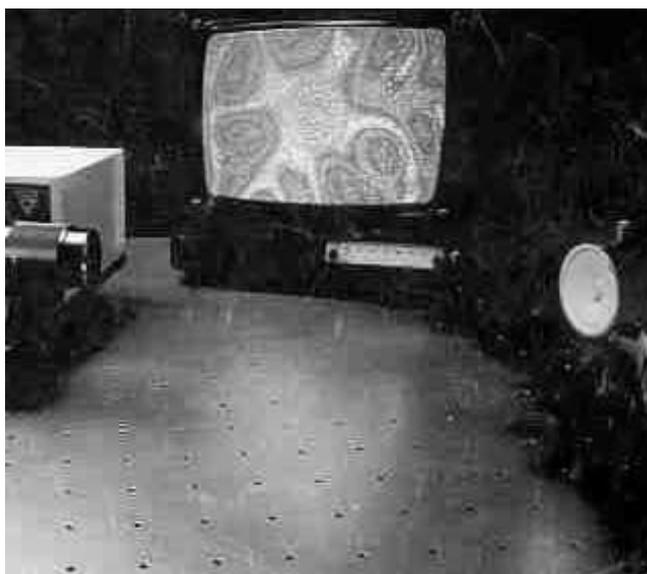


Рис. 62. Устройства для ввода голографических изображений в ЭВМ

Разработаны устройства УОГ-1 и УОГ-2 для ввода голографических изображений в ЭВМ с целью их обработки. На следующем рисунке изображена установка такого типа для анализа вибраций – виден освещенный светом гелий-неонового лазера колеблющийся диффузор динамика и соответствующая интерферограмма на экране монитора.

Разработаны устройства УОГ-1 и УОГ-2 для ввода голографических изображений в ЭВМ с целью их обработки. На следующем рисунке изображена установка такого типа для анализа вибраций – виден освещенный светом гелий-неонового лазера колеблющийся диффузор динамика и соответствующая интерферограмма на экране монитора.

Специальное программное обеспечение позволяет пересчитать распределение интерференционных полос в распределение деформаций.

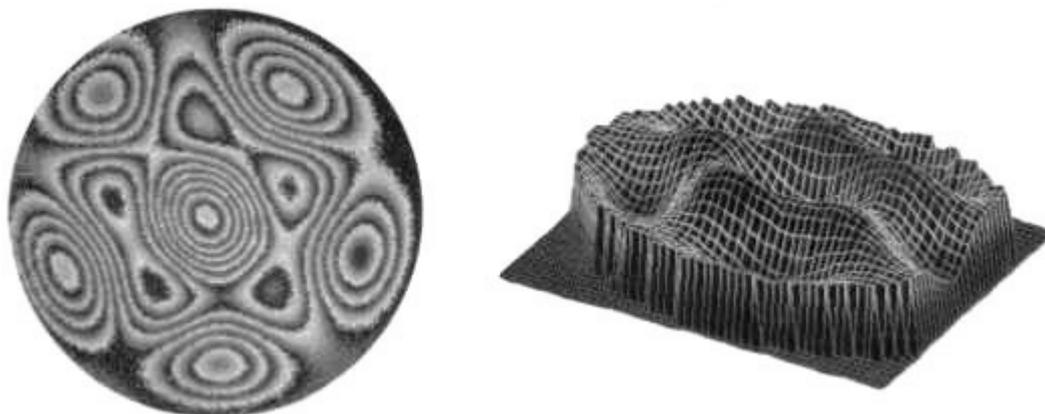


Рис. 63. Пересчитанное распределение интерференционных полос в распределение деформаций

Условия использования голографических установок ОНК

Практическое применение голографических методов неразрушающего контроля требует выполнения ряда условий, основным из которых являются следующие.

Неподвижность объекта контроля в течение всего времени экспонирования голограммы. По этому голографические установки должны иметь надежную систему виброзащиты (массивные основания, демпферы и т. д.). Кроме того, целесообразно применение лазеров большей мощности для сокращения времени экспозиции.

Применение для голографирования протяженных объектов лазеров с большой длиной когерентности (порядка 1 м и более). Это, в частности, ограничивает применение многомодовых лазеров, имеющих большую мощность излучения но малую длину когерентности.

Регистрирующие среды, применяемые для фиксации голограмм должны иметь высокую пространственную разрешающую способность (3000...4000 линий на один миллиметр), что необходимо для регистрации тонкой микроструктуры интерференционной картины, возникающей в плоскости формирования голограммы. Это требование находится в противоречии с условием высокой энергетической чувствительности фотоэмульсии, поэтому реальные материалы используемые в голографии отличаются низкой чувствительностью (0,01 единицы светочувствительности по сравнению с 35...250 единицами для крупнозернистых материалов, используемых в обычной фотографии).

Микроструктура поверхности объекта контроля не должна существенно меняться в процессе получения голограммы. Допустимые изменения микрорельефа поверхности составляют доли микрометра. Это, в частности, затрудняет контроль изделий, поверхность которых в процессе испытаний может подвергаться структурным изменениям (появление усталостных микротрещин и т. д.) а также контроль методом сравнения с эталоном. Вместе с тем это дает возможность создания высокочувствительных систем регистрации таких изменений, основанных на анализе степени «размазывания» (размытия) голографического изображения объекта, подвергаемого, например, циклическому нагружению. Существующие методы и устройство позволяют учесть эти ограничения и эффективно применять голографические методы испытаний.

Метод голографической интерферометрии можно использовать для контроля качества изделий и выявления скрытых дефектов. Так, например, голографическая интерферометрия используется для выявления незначительных дефектов внутри автомобильной или самолетной шины (рис. 64).

Этот метод основан на двух последовательных экспозициях автомобильной покрышки, первой в нормальном состоянии и второй — слегка нагретой горячим воздухом. Метод позволяет обнаруживать участки некачественной склейки резиновых слоев на глубине в 20 слоев от поверхности шины. Сконструирована голографическая установка для контроля качества швов в процессе изготовления крыльев самолета при сварке металлических листов с сотовыми конструкциями размером до 2 м². Этот же метод весьма перспективен для контроля качества тепловыделяющих элементов ядерных реакторов, многослойных печатных плат, интегральных схем и т. д. Не менее перспективным является применение метода голографической интерферометрии для исследования различных прозрачных (фазовых) объектов. Сочетая интерферометрию с методами голографической пространственной фильтрации, можно осуществлять такие метрологические операции, как отождествление изготовленных изделий с голографическими объемными изображениями их стандартных образцов, которые в свою очередь могут быть созданы путем машинного голографического синтеза. На этих принципах возможно создание поточных линий с непрерывным контролем качества и отбраковкой деталей сложной формы.

Голографические интерферограммы вибрирующей на разных частотах турбинной лопатки приведены на рис. 64.

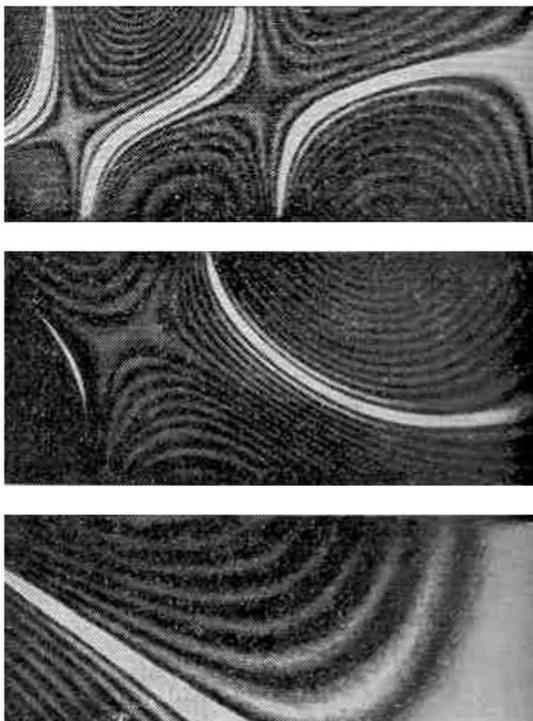


Рис. 64. Голографические интерферограммы вибрирующей на разных частотах турбинной лопатки

Голография уже перестает быть экзотикой. Однако некоторые стороны процесса внедрения голографии в современную жизнь все еще остаются за кадром. Это проблема распознавания образов, интерферометрические измерения, создание голограммных оптических элементы, вопросы обработки изображений и многое другое.

3.7.2. Голографическая эндоскопия

Для контроля дефектов участков изделий, находящихся в труднодоступных местах, перспективен метод голографической эндоскопии. В отличие от традиционных способов эндоскопии с помощью волоконно-оптических элементов (ВОЭ) здесь появляется возможность получения объемных изображений внутренних полостей изделий при углах обзора, близких к предельным. Для систем голографической эндоскопии разработаны специальные ВОЭ, обеспечивающие малые потери лазерного излучения и сохранение его когерентности. Применение лазеров в эндоскопии позволило также использовать эффект квантового усиления света с помощью ВОЭ из оптически активных материалов для резкого (в $10^3 \dots 10^4$) увеличения яркости изображения, улучшения его контрастности. Накачка ВОЭ производится при этом с помощью одиночных импульсных ламп, а объект освещается лазерным светом с длиной волны, соответствующей резонансной частоте световодов.

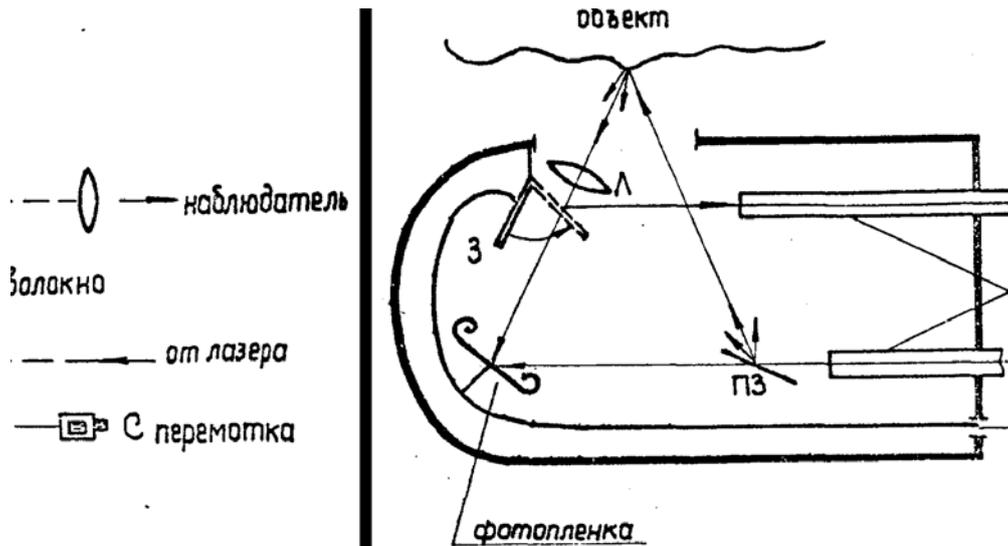


Рис. 65. Схема голографического эндоскопа

В последние годы в нашей стране и за рубежом уделяется большое внимание развитию эндоскопической техники. В значительной степени темпы этого развития обусловлены тесным содружеством физиков, техников и медиков. В частности, такое содружество позволило разработать и успешно внедрить в эндоскопию волоконную оптику. Преимуществом таких устройств является возможность проводить более качественную, надежную диагностику и документировать результаты исследований.

Прогресс в современной оптике, связанный с появлением лазеров, развитием принципиально новых методов формирования изображений голографии, коснулся и диагностической эндоскопии.

Посмотрим, что нового сможет дать голография для эндоскопии. Дело в том, что изображение, формируемое на конце эндоскопа фотоаппаратом, является плоским, объемность отсутствует. В отличие от обычной фотографии, голография, как известно позволяет записать и воспроизвести не двумерное распределение яркости, а саму световую волну, исходящую от предмета, за счет регистрации всей амплитудно-фазовой информации. Это изображение может быть разрешено и измерено с большой точностью. Совершенно очевидно, насколько важно эндоскописту располагать информацией подобного рода.

Отметим только тот факт, что оценка величины патологии достаточно важна для онкологии и позволяет решать многие задачи диагностики, выбирать метод лечения, оценивать и прогнозировать результаты.

Высокое разрешение и точность измерения в этом случае наиболее существенны, т. к. установлено, что до критического периода опухоль в

своем развитии проходит 40 периодов, причем начальному периоду соответствует диаметр ~ 40 мкм. Современные эндоскопические исследования позволяют зафиксировать минимальный диаметр опухоли ~ 150 мкм, что соответствует примерно 12 периодам ее существования (или 30 % всего времени ее развития).

Возможны два варианта построения голографических эндоскопов – с расположением регистрирующей среды на дистальном и проксимальном концах эндоскопа. В обоих случаях могут быть использованы схемы голографической регистрации во встречных пучках а также схемы с наклонным опорным пучком»

Контрольные вопросы

1. При наблюдении объектов контроля через лупу центр зрачка расположен:
 - а) между лупой и ее задним фокусом,
 - б) в заднем фокусе;
 - в) между первым задним фокусом и вторым;
 - г) в любой точке за лупой.

2. При повороте зеркала на угол φ падающее на него оптическое излучение поворачивается на угол:
 - а) $\varphi/2$;
 - б) φ ;
 - в) 2φ ;
 - г) 4φ .

3. С увеличением заднего фокусного расстояния лупы, ее увеличение:
 - а) растет;
 - б) уменьшается;
 - в) остается неизменным;
 - г) «а» или «в».

4. Работающая способность телескопической системы определяется разрешающей способностью:
 - а) окуляра;
 - б) объектива;
 - в) «а» и «б»;
 - г) ни «а», ни «б».

5. Нижний предел разрешаемости объектов, наблюдаемых в микроскоп, приближенно равен:
 - а) 0,1 мкм;

- б) 0,2 мкм;
 - в) 0,5 мкм;
 - г) 1,0 мкм.
6. Методы жидкого и газового охлаждения эндоскопов позволяют их использовать до температур:
- а) 1000 °С;
 - б) 2000 °С;
 - в) 2500 °С;
 - г) 3000 °С.
7. Лучшие образцы современных световодов могут иметь разрешающую способность до ... мм⁻¹:
- а) 10;
 - б) 50;
 - в) 75;
 - г) 100.
8. Глубина изображаемого пространства у эндоскопов ... глубины изображаемого пространства у микроскопов:
- а) меньше;
 - б) равна;
 - в) больше;
 - г) нельзя высказать ничего определенного.
9. Пожарная безопасность светового прибора означает практическую невозможность загорания:
- а) самого прибора;
 - б) окружающей среды;
 - в) ни «а», ни «б»;
 - г) «а» и «б».
10. Защита световых приборов от пыли, воды и агрессивных сред обеспечивается, как правило, выбором соответствующих:
- а) конструкционных материалов;
 - б) светотехнических материалов;
 - в) степенью герметизации его полостей;
 - г) все перечисленное верно.
11. При запылении светового прибора происходит ... его КПД:
- а) повышение;
 - б) снижение;
 - в) остается неизменным;
 - г) нельзя сказать ничего определенного.

12. Контраст деталей изображения ОК до ... считается малым.
- а) 10 %;
 - б) 20 %;
 - в) 25 %;
 - г) 30 %.
13. Световым прибором называется устройство, содержащее:
- а) источник света;
 - б) светотехническую аппаратуру;
 - в) «а» и «б»;
 - г) ни «а», ни «б».
14. К главным признакам световых приборов относят:
- а) основную светотехническую функцию и характер светораспределения;
 - б) условия эксплуатации и основное назначение;
 - в) «а» и «б»;
 - г) ни «а», ни «б».
15. Светильник — это световой прибор, перераспределяющий свет лампы (ламп) внутри ... телесных углов и обеспечивающий концентрацию светового потока с коэффициентом усиления не более ...:
- а) больших..., 30;
 - б) малых ..., 30;
 - в) больших..., 50;
 - г) малых ..., 50.

Глава 4

ПРИБОРЫ И ИНСТРУМЕНТЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ

Оптические приборы — устройства, в которых излучение какой-либо области спектра (ультрафиолетовой, видимой, инфракрасной) преобразуется (пропускается, отражается, преломляется, поляризуется). Отдавая дань исторической традиции, оптическими обычно называют приборы, работающие в видимом свете. При первичной оценке качества прибора рассматриваются лишь основные его характеристики: способность концентрировать излучение — светосила, различать соседние детали изображения — разрешающая сила; соотношение размеров предмета и его изображения — увеличение. Для многих приборов определяющей характеристикой оказывается поле зрения — угол, под которым из центра прибора видны крайние точки предмета.

4.1. Приборы для измерения больших линейных размеров изделий или отклонений от формы и расположения поверхностей изделия

Бинокли. Бинокулярный телескоп, обычно именуемый биноклем, представляет собой компактный прибор для наблюдений обоими глазами одновременно. Его увеличение, как правило, от 6 до 10 крат. В биноклях используют пару оборачивающих систем (чаще всего — Порро), в каждую из которых входят две прямоугольные призмы (с основанием под 45°), ориентированные навстречу прямоугольными гранями. Чтобы получить большое увеличение в широком поле зрения, свободном от аберраций объектива, и, следовательно, значительный угол обзора ($6\dots 90^\circ$), биноклю необходим очень качественный окуляр, более совершенный, чем телескопу с узким углом зрения. В окуляре бинокля предусмотрена фокусировка изображения, причем с коррекцией зрения, — его шкала размечена в диоптриях. Кроме того, в бинокле положение окуляра подстраивается под расстояние между глазами наблюдателя. Обычно бинокли маркируются в соответствии с их увеличением (в кратях) и диаметром объектива (в миллиметрах), например, 8×40 или 7×50 .

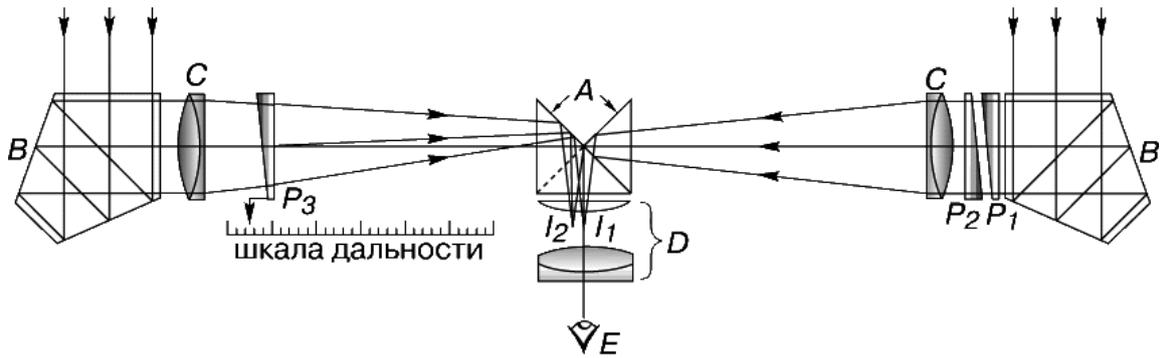


Рис. 66. Монокулярный дальномер:

*A — прямоугольная призма; B — пентапризмы; C — линзовые объективы; D — окуляр;
E — глаз; P₁ и P₂ — неподвижные призмы; P₃ — подвижная призма;
I₁ и I₂ — изображения половин поля зрения*

Дальномеры. Оптические дальномеры, с помощью которых измеряют расстояния до объектов, бывают монокулярные и стереоскопические. Хотя они различаются конструктивными деталями, основная часть оптической схемы у них одинакова и принцип действия один — по известной стороне (базе) и двум известным углам треугольника определяется неизвестная его сторона. Два параллельно ориентированных телескопа, разнесенных на расстояние b (база), строят изображения одного и того же удаленного объекта так, что он кажется наблюдаемым из них в разных направлениях (базой может служить и размер цели). Если с помощью какого-нибудь приемлемого оптического устройства совместить поля изображений обоих телескопов так, чтобы их можно было рассматривать одновременно, окажется, что соответствующие изображения предмета пространственно разнесены. Существуют дальномеры не только с полным наложением полей, но и с половинным — верхняя половина пространства изображений одного телескопа объединяется с нижней половиной пространства изображений другого. В таких приборах с помощью подходящего оптического элемента проводится совмещение пространственно разнесенных изображений и по относительному сдвигу изображений определяется измеряемая величина. Часто в качестве сдвигающего элемента служит призма или комбинация призм. В схеме монокулярного дальномера, показанной на рис. 66, эту функцию исполняет призма P_3 , которая связана со шкалой, проградуированной в измеряемых расстояниях до объекта. Пентапризмы B используются как отражатели света под прямым углом, поскольку такие призмы всегда отклоняют падающий световой пучок на 90° , независимо от точности их установки в горизон-

тальной плоскости прибора. Изображения, создаваемые двумя телескопами, в стереоскопическом дальномере наблюдатель видит сразу обоими глазами. База такого дальномера позволяет наблюдателю воспринимать положение объекта объемно, на некоторой глубине в пространстве. В каждом телескопе имеется сетка с марками, соответствующими значениям дальности. Наблюдатель видит шкалу расстояний, уходящую в глубь изображаемого пространства, и по ней определяет удаленность объекта.

Лазерный дальномер – прибор для измерения расстояний. Широко применяется в инженерной геодезии, при топографической съёмке, в военном деле, в навигации, в астрономических исследованиях, в фотографии.

Лазерный дальномер это устройство, состоящее из импульсного лазера и детектора излучения. Измеряя время, которое затрачивает луч на путь до отражателя и обратно и зная значение скорости света, можно рассчитать расстояние между лазером и отражающим объектом. Лазерный дальномер – простейший вариант лидара. К концу 1960-х годов лазерные дальномеры стали стандартным оборудованием новых танков США. Способность электромагнитного излучения распространяться с постоянной скоростью дает возможность определять дальность до объекта. Так, при импульсном методе дальнометрирования используется соотношение $L = ct/2$, где L – расстояние до объекта; c – скорость распространения излучения; t – время прохождения импульса до цели и обратно.

Рассмотрение этого соотношения показывает, что потенциальная точность измерения дальности определяется точностью измерения времени прохождения импульса энергии до объекта и обратно. Ясно, что чем короче импульс, тем лучше.

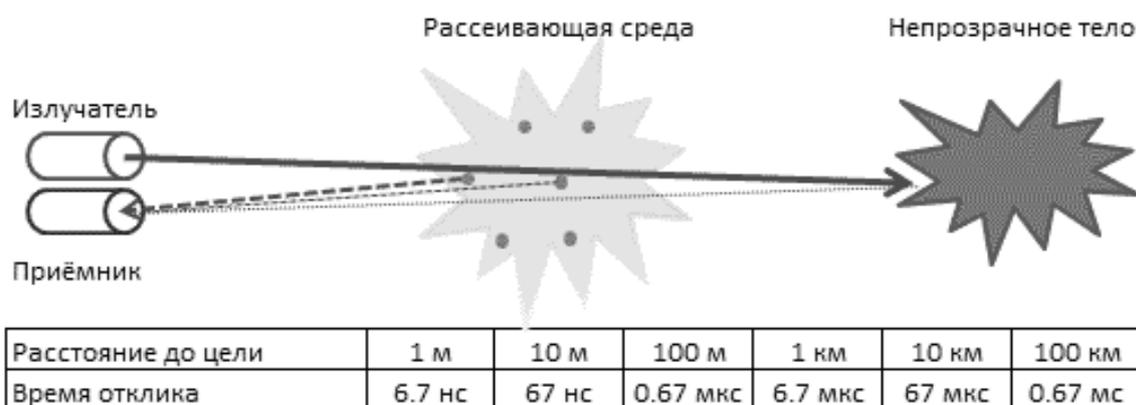


Рис. 67. Схема работы лазерного дальномера

Нивелир (от фр. niveau – уровень, нивелир) – оптико-механический геодезический прибор для геометрического нивелирования, то есть определения разности высот между несколькими точками. Прибор, устанавливаемый обычно на треножник (штатив), оборудован зрительной трубой, приспособленной к вращению в горизонтальной плоскости, и чувствительным уровнем. Маркировка нивелиров состоит из буквенно-цифрового кода примерно такого вида 3Н-2КЛ. Здесь цифра 3 обозначает модификацию прибора, буква Н – Нивелир, цифра 2 – среднеквадратическая погрешность на 1 км двойного хода в миллиметрах, К – обозначает наличие компенсатора, Л – наличие горизонтального лимба для измерения горизонтальных углов с технической точностью. Современные оптические нивелиры оснащены автоматическим компенсатором – устройством установки зрительной оси прибора в горизонтальное (рабочее) положение при строительных и геодезических работах.

Также существуют лазерные нивелиры – электронно-механические приборы в которых используется принцип вращения лазерного луча. Основное достоинство лазерного нивелира – простота в работе, не требующая специальных навыков по настройке прибора и возможность проведения работ только одним человеком.

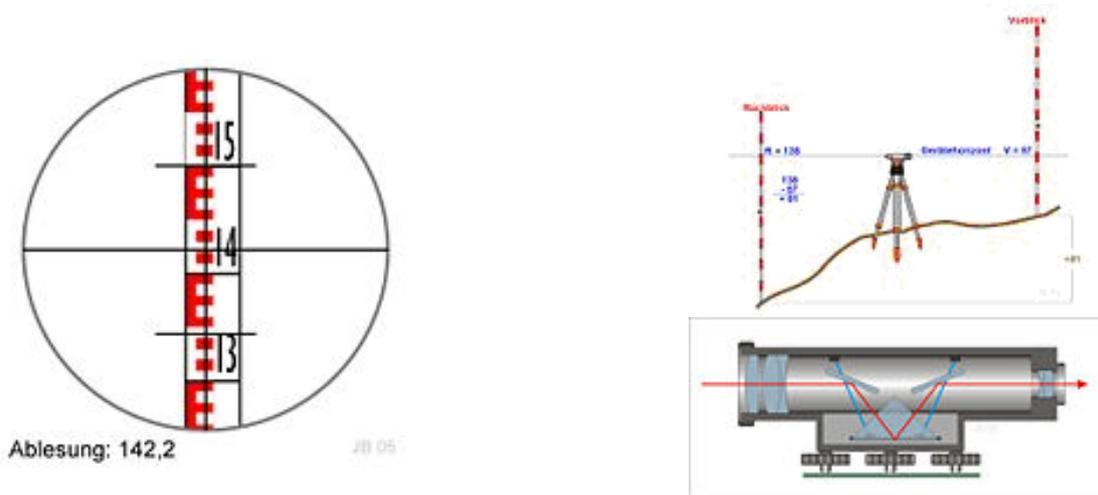


Рис. 68. Принцип нивелира с компенсатором

Оптическая линейка ОЛ-1600 предназначена для определения отклонений от прямолинейности рабочих поверхностей линеек типа ШП и ШМ длиной 400 мм класса точности 1 и 2, линеек типа ШП, ШД, ШМ длиной от 630 до 1600 мм всех классов точности и размеров, поворотных и разметочных плит всех классов точности и размеров; плоских

поверхностей длиной от 200 до 400 мм 3 степени точности и грубее длиной от 1000 до 1600 мм любой точности, а также образующих валов длиной от 200 до 1600 мм с 1 до 10 степени точности. Поверхности длиной свыше 1600 мм поверяются шаговым методом.

Лазерные приборы



Рис. 69. Лазерный нивелир Лимка

Лазерный нивелир Лимка. Прибор выполнен по упрощенной схеме – не имеет трегера. Может устанавливаться на любую поверхность или крепиться к элементам конструкций с помощью струбины. Комплектуется поворотной призмой, которая позволяет строить вертикальные плоскости.



Рис. 70. Лазерный ротационный нивелир

Лазерный ротационный нивелир – самоуравнивающийся лазерный нивелир с магнитным компенсатором. Видимый или невидимый ротационный лазерный луч, горизонтального сканирования. Автоматическое отключение лазерного луча в случае отклонения его от цели.

Комплект включает:

- 1) LC-2 Приемник для лазерного нивелира с креплением, позволяющий обнаруживать лазерный луч от 635 до 780 нм (с подсветкой в ночное время);
- 2) лазерные очки;
- 3) пластиковый укладочный кейс.

Постоянное усложнение конфигурации изделий (соответственно формирующих полостей оснастки), повышение требований к качеству и точности их, привело к тому, что контроль геометрических параметров различных изделий с использованием устаревших средств (универсального измерительного инструмента, контрольных приспособлений, шаблонов и т. д.) требует больших затрат при изготовлении соответствующей оснастки, а зачастую и просто невозможен.

В последнее время многие предприятия для такого контроля используют **координатно-измерительные машины (КИМ)** и **лазерные сканеры** для бесконтактного съема информации с геометрии изделия.

КИМ можно разделить на два типа: стационарные и мобильные.

Первый тип машин чаще всего используется для высокоточного контроля небольших изделия (например, это машины компании International Metrology Systems R., Великобритания. Они имеют большое количество типоразмеров и обеспечивают высокую точность измерений – от 0,002 мм).

Для контроля крупногабаритных и неподвижных деталей и оснастки, а также в случае необходимости оперативного контроля изделий в ходе технологического процесса изготовления, применяются мобильные КИМ типа «руки»-манипулятора.

Мобильные КИМ компании «FARO Technologies Inc.» (США) хорошо зарекомендовали себя в различных отраслях промышленности, как России, так и за рубежом.

КИМ FARO состоит из опорной плиты, которая крепится к любому подходящему месту, и нескольких, соединенных между собой шарнирами, колен. Конструкция очень похожа на строение человеческой руки. У КИМ FARO также есть своеобразные кистевой, локтевой и плечевой суставы. В каждом шарнире есть датчик контроля угловых перемещений, который в режиме реального времени следит за углом поворота колена, в результате чего компьютер, зная информацию о длине каждого колена и угле его поворота, просчитывает координаты откалиброванного щупа – своеобразного пальца. В зависимости от числа колен имеются машины с 6-ю или 7-ю степенями свободы. Обычно при работе вполне достаточно 6-ти степеней свободы, но для ряда задач (таких, как например, сканирование) рекомендуется применять КИМ с 7-ю степенями, т. к. это более удобно. Рабочей зоной КИМ является сфера с диаметрами 1,2, 1,8, 2,4, 3,0, 3,7 м, причем щуп может легко попасть практически в любую точку внутри этой сферы. Самая точная КИМ FARO Platinum 4 имеет повторяемость $\pm 0,006$ мм, точность $\pm 0,018$ мм на рабочей зоне 1,2 м.

КИМ FARO не имеет привода и является КИМ типа манипулятора, поэтому все перемещения колен и фиксация точки замера производятся оператором вручную. Измерение осуществляется в комплексе с персональным компьютером, а для повышения мобильности лучше использовать ноутбук.

Для измерения прибор устанавливают и закрепляют вблизи измеряемого объекта, подключают компьютер и с помощью программного обеспечения калибруют щуп, которым будут производиться измерения. После этого КИМ готов к работе (на это процедуру уходит 5...10 мин).

КИМ работают по методу ощупывания изделий специальным контактным датчиком и снятия соответствующих координат точек. По данным точкам компьютер способен построить любые геометрические примитивы (плоскости, окружности, арки, цилиндры и т. п.) и сообщить их реальные размеры, положение относительно базовых поверхностей изделия, взаимное расположение элементов относительно друг друга и т. д. Таким образом, можно проконтролировать любой линейно-угловой размер, заданный конструктором в чертеже, а так же отклонение от плоскостности, параллельности, сносности, биение и т. д. (рис. 71).



Рис. 71. Общий вид КИМ FARO

Контроль сложных криволинейных поверхностей осуществляется методом сравнения с исходной САД-моделью, причем она может быть транслирована из любой САД-системы. С помощью программного обеспечения оператор виртуально накладывает реальное изделие на САД-модель (эталон), что позволяет в режиме реального времени контролировать, насколько изделие отличается от эталона. Все результаты контроля возможно визуализировать и задокументировать как в электронном, так и в бумажном виде. Этот метод идеально подходит для контроля формообразующих поверхностей штампов и пресс-форм.

Для упрощения процесса контроля сложноконтурных изделий, а так же для сканирования и обратного инжиниринга, рекомендуется применение совместно с координатно-измерительными машинами бесконтактных лазерных сканеров фирмы Kreon Technologies (Франция), дающих точность до 0,005 мм. Комплексное использование данного оборудования существенно упрощает процесс измерения. Лазерные сканеры Креон позволяют сократить время снятия данных в несколько раз, при этом устраняется возможность повреждения детали во время измерения.

Лазерный сканер крепится вместо контактного шупа и подключается к КИМ мобильного или стационарного типа, либо к станку с числовым программным управлением (ЧПУ). Внутри сканера располагается цифровая видеокамера и диодный лазерный излучатель. Лазерный луч формирует строку различной длины в зависимости от модели, а затем гаснет до начала следующей. Максимальное количество строчек в секунду – 60. Данный параметр регулируется вручную и задается в зависимости от отражательной способности поверхности сканируемого изделия.

Технология сканирования Kreon базируется на методе триангуляции. Угол между камерой и лазерным лучом выбран оптимальным для сканирования. Лазерный луч в единичный момент времени образует на сканируемой поверхности светящуюся точку, которая фиксируется матрицей видеокамеры. При формировании лучом лазера строчки на измеряемой поверхности, на матрице фиксируется размытая (градиентная) кривая, которая затем фильтруется по точкам с максимальной интенсивностью свечения. Из этих точек с наибольшей интенсивностью свечения формируется облако точек. Лазерные сканеры Kreon ZERNYR способны снимать до 30000 точек в секунду.

Обработка облаков точек проводится в программном обеспечении Geomagic (США). Модуль Geomagic Quality представляет собой метрологическое программное обеспечение, которое делает процесс проверки качества изготовления изделия более наглядным, позволяет накладывать облако точек на исходную CAD-модель, задавать допуск и окрашивать каждую точку в различные цвета в зависимости от отклонения от CAD-модели. Таким образом, получают цветовую карту отклонений, отслеживают части изделия, размеры которых выполнены за пределами допуска, смотрят значения отклонений в заданных областях. Geomagic Quality кроме оперативного 3D контроля позволяет определять линейно-угловые размеры элементов детали, а также контролировать отклонения формы и взаимного расположения поверхностей. Процесс создания отчетов полностью автоматизирован.

Модуль Geomagic Studio предназначен для проведения обратного инжиниринга, и позволяет создать как в автоматическом, так и в ручном режиме триангулированные или NURBS-поверхности. Имеются инструменты для анализа кривизны построенной поверхности и сравнения её с исходным облаком точек для оценки качества построения модели. Полученные поверхности можно экспортировать в любые CAD/CAM/CAE системы.

Таким образом, использование КИМ и лазерных сканеров для бесконтактного съема информации позволяет значительно сократить сроки, необходимые для проектирования новых и модернизации серийно выпускаемых изделий, достичь высокой точности проведения контрольно-измерительных работ, а также значительно сократить время и снизить затраты на проектирование и изготовление контрольных приспособлений.

4.2. Современные средства и методы измерения неровностей. Качественные методы контроля шероховатости поверхности

Контроль шероховатости путем сравнения со стандартными образцами шероховатости или аттестованной деталью широко используется в цеховых условиях.

Образец шероховатости поверхности (сравнения) представляет собой пластинку, одна из поверхностей которой обработана с образцовой шероховатостью и аттестована по параметру R_a на профилометре. Сравнение осуществляется визуально. Чтобы глаза не утомлялись от излишнего напряжения при сличении двух поверхностей с шероховатостью, а также для усиления возможности человеческого глаза, рекомендуется пользоваться лупой или микроскопом сравнения. Визуальный метод обычно применяют при оценке шероховатости в пределах R_a от 50 до 0,4 мкм.

Рабочие образцы шероховатости поверхности, полученные точением, фрезерованием, строганием, шлифованием, растачиванием, развертыванием, протягиванием, полированием и доводкой, стандартизированы и выпускаются с различными значениями шероховатости. Направление микронеровностей может быть тоже различное: прямолинейное, дугообразное и перекрещивающееся дугообразное. При визуальном контроле необходимо стремиться к тому, чтобы с образцом сравнивалось изделие, не только прошедшее тот же вид обработки, но и выполненное из того же материала, что и образец.

Образцы шероховатости комплектуют наборами. К каждому набору образцов прилагают паспорт по ГОСТ 2.601–95 ЕСКД. Эксплуатационные документы, содержат перечень образцов, входящих в набор, воспроизводимые способы обработки и значения параметров шероховатости, в том числе и дополнительных по требованию заказчика. На футляре или оправе, в которые упакованы образцы шероховатости, должно быть нанесено:

- а) на футляре:
- слова «образцы шероховатости»;
 - способ (или способы) обработки;
 - наименование и/или товарный знак предприятия-изготовителя;
 - заводской номер набора;
 - обозначение стандарта;
- б) на оправе (или отдельном образце):
- номинальное значение параметра шероховатости R_a (для каждого образца отдельно);
 - материал (материалы) деталей, для контроля которых предназначены образцы;
 - способ обработки.

Методы количественной оценки построены на оценке профиля. При этом оценка профиля может быть осуществлена без прикосновения прибора к обследуемой поверхности (оптические методы) или методами прощупывания при помощи специального щупа — иглы.

Оптические методы оценки по профилю охватывают метод поперечных и косых срезов, метод сечения поверхности световой щелью и метод интерференции

Метод поперечных и косых срезов достаточно точен, однако практически трудоемок и может применяться лишь в лабораторных работах.

Метод сечения световой щелью, интересный по идее, в опытной проверке оказывается не совсем точным.

Точным методом является **метод интерференции**, позволяющий оценивать поверхность в десятых и даже в сотых долях микрона. Однако область применения ограничивается чрезвычайной чувствительностью приборов к внешним сотрясениям. Метод применим в лабораторных условиях.

Методы, построенные на принципе прощупывания поверхности иглой, нашли наиболее широкое применение. Такие методы дают или некоторую интегральную величину или профилограмму. Эти методы подразделяются на электромеханические и оптико-механические.

Метод электромеханический с интегральной оценкой поверхности воплощен, как мы знаем, в профилометрах. Этот метод является чрезвычайно ценным, так как он дает возможность быстро оценивать поверхность по показаниям измеряющего прибора. Метод достаточно точен.

Оптико-механический метод воплощен в профилографах. Получаемая на приборе профилограмма дает возможность выразить в абсолют-

ных величинах основные элементы, профиля.

Сопоставляя оба метода, мы должны сказать, что электромеханический метод более сложен, связан с рядом затруднений и для своего применения требует определенных условий. Несмотря на сложность указанного метода и на трудности, связанные с его применением, он остается весьма ценным и в то же время единственным, когда речь идет о приборах, дающих интегральную оценку обработанных поверхностей. Оптико-механический метод более прост в своем применении и не создает дополнительных затруднений.

Портативный измеритель шероховатости TR200

Это продукция, разработанная компанией Time Group Inc. Измеритель предназначен для работы в условиях производства и может быть использован для измерения шероховатости поверхности различных машиностроительных деталей. Измеритель производит расчет параметров шероховатости в соответствии с выбранной методикой и четко отображает на жидкокристаллическом экране график профиля и все измеренные параметры.

Принцип работы измерителя шероховатости TR200

При измерении шероховатости поверхности детали, на поверхности располагают датчик, изображенный на рис. 72, и проводят им по поверхности с постоянной скоростью.

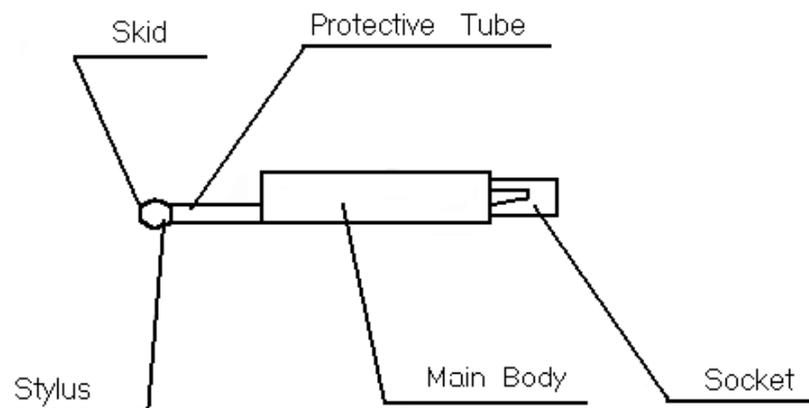


Рис. 72. Датчик портативного измерителя шероховатости TR200:

Skid – скользящий элемент; Protective Tube – защитная трубка;

Stylus – перо; Main Body – корпус; Socket – разъем

Датчик воспринимает неровности поверхности острым пером. Неровности вызывают смещения в датчике, в результате чего изменяется индуктивность катушки, которая генерирует аналоговый сигнал, пропорциональный размерам неровностей. Сигнал поступает на фазочув-

ствительный выпрямитель. После усиления и преобразования уровня этот сигнал поступает в систему сбора данных. Собранные данные подвергаются цифровой фильтрации, и микросхема цифровой обработки сигналов производит расчет параметров. Результаты измерения можно считать на жидкокристаллическом дисплее, распечатать на принтере и передать на персональный компьютер.

Внешний вид портативного измерителя шероховатости TR200 представлен на рис. 73.

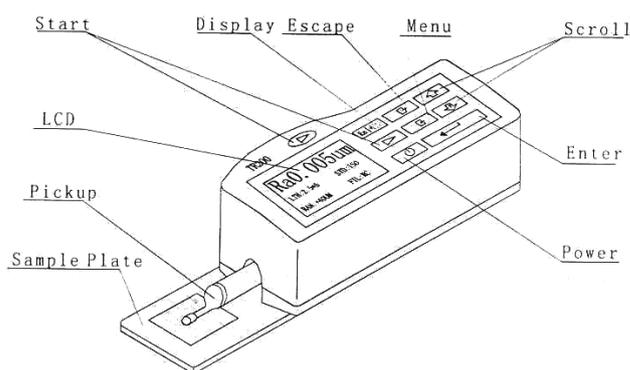


Рис. 73. Внешний вид портативного измерителя шероховатости TR200: Start – запуск; Display – режим отображения; Escape – выход; Menu – меню; Skroll – прокрутка; Enter – ввод; Power – питание; LCD – жидкокристаллический дисплей; Pickup – датчик; Sample plate – образцовая пластина

Измеритель шероховатости TESA RUGOSURF

Стартовая модель в линейке приборов для измерения параметров шероховатости поверхности – модель SE1200, компании Kosaka Lab.

Прибор состоит из измерительного блока и блока индикации со встроенным термопринтером и жидкокристаллическим дисплеем. В принципе – стандартная компоновка, какую применяют практически все ведущие производители профилометров Mitutoyo, Mahr, HommelWerke и Taylor Hobson.

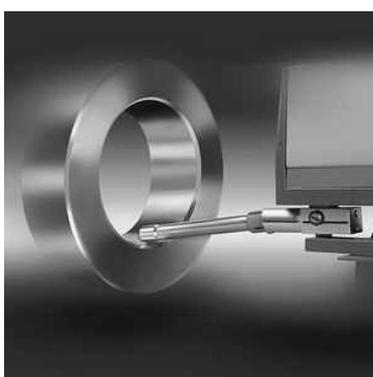


Рис. 74. Измеритель шероховатости TESA RUGOSURF

Длина трассы – 25 мм, обычно приборы такой ценовой категории имеют длину всего 12,5 мм. Диапазон измерения – 520 мкм, обычно – 300...400 мкм.

*Технические характеристики
измерителя шероховатости TESA RUGOSURF*

Параметр	Диапазон, мкм	Оценочная длина l/l_m , мм	Общая длина смещения l_t , мм	Срез, мм
R_a	0,03...6,35	0,8	2,0	1×0,8
R_y	0,2...25,3	2,4	3,5	3×0,8
R_a/R_z DIN/ R_{max}	0,2...25,3	4,0	5,0	5×0,8

Прямолинейность перемещения щупа – 0,5 мкм на 25 мм, у других производителей этот параметр в приборах начального уровня не нормируется. Однако именно этот параметр определяет возможность использования безопорного метода измерения, что позволяет проводить измерение сферических поверхностей, узких проточек в поперечном сечении, отверстиях малых диаметров от 1 мм и т. п., а также измерять параметры волнистости.



Рис. 75. Внешний вид модели SE1200 компании Kosaka Lab

Практически все приборы ведущих производителей имеют возможность измерения необходимых параметров и более того. Так профилометр SE1200 может измерять (вычислять) более 60 параметров. Отличительная черта этого прибора – возможность измерения параметров волнистости, которые позволяет измерять профилометр Kosaka Lab. SE1200.

Отсечка шага минимальная – 0,08 мкм, с возможностью ручного выбора. Обычно минимальная – 0,25 мкм, без возможности ручного выбора. Это позволяет применять прибор SE1200 на очень коротких участках, что иногда необходимо при измерении деталей сложной конфигурации.

В комплекте к профилометру Kosaka Lab SE1200 идет бесплатное программное обеспечение Roughness File и Roughness Print для сохранения результатов измерения и формирования протокола измерения.

Профилемеры фирмы «Elcometer»

Профилемер Elcometer 123 – удобный в использовании прибор, измеряющий высоту неровностей поверхности. Он изображен на

рис. 76, а. Усредненное значение последовательности измерений обеспечивает индикацию шероховатости поверхности и позволяет выполнять сравнение поверхностей.



а

б

Рис. 76. Профилемеры фирмы «Elcometer»:

а – профилемер Elcometer 123; б – цифровой профилемер Elcometer 223

Цифровой профилемер Elcometer 223, показанный на рис. 76, б, представляет собой работающий от батарей цифровой профилемер, который используется для измерения высоты неровностей поверхности также как и Elcometer 123, но с дополнительной функцией прямого вывода данных и цифровым дисплеем. Вывод данных через порт RS-232 для передачи показаний на ПК, регистратор данных, вывода на принтер и т. д., что обеспечивает сохранение твердой копии отчета о результатах измерений.

Характеристики цифрового профилемера Elcometer 223:

- измерения в метрической и английской системе мер;
- удобство использования;
- повышенное разрешение;
- мгновенное получение значений для построения профиля поверхности.

Профилемеры

В профилеметрах параметры шероховатости определяют по стрелочным или цифровым отсчетным устройствам. Например, к профилеметрам со стрелочным отсчетным устройством относят профилеметры модели 253 и 283, у которых шкалы проградуированы по параметру R_a , а в качестве преобразователя использован механотрон, представляющий собой электронную лампу с подвижным анодом.

Профилометр состоит из механотронного преобразователя, привода, электронного блока, столика, призмы, стойки. Колебания иглы передаются на анод механотрона через стержень, выходящий из стеклянной колбы. В электронной лампе они преобразуются в электрические сигналы, которые передаются в электронный блок прибора. Там сигналы усиливаются и фиксируются на отсчетном устройстве. Данная модель имеет пределы измерения R_a от 0,02 до 3,2 мкм.

Диапазон измерений параметра R_a составляет от 0,02 до 100 мкм. Для измерения шероховатостей поверхностей с весьма малыми параметрами R_a и S применяют датчики с иглой, имеющей радиус закругления острия 2 мкм, а для более глубоких неровностей – датчик с иглой, имеющей радиус 10 мкм.

Профилографы-профилометры

В зависимости от назначения устанавливают следующие типы профилографов-профилометров:

- I – для лабораторных работ (стационарные);
- II – цеховые (стационарно-переносные для контроля окончательно обработанных поверхностей);
- III – цеховые (портативные, предназначенные для межоперационного контроля).

Перемещение алмазной иглы с радиусом закругления 2 мкм по проверяемой поверхности приводит к колебанию якоря, установленного на оси. При этом изменяется индуктивное сопротивление датчика, состоящего из сердечника и катушек обмотки. Колебание напряжения на выходе дифференциального трансформатора, получающего питание от генератора звуковой частоты, усиливается электронным блоком. Прибор показывает значение параметров шероховатости. Записывающее устройство вычерчивает профилограмму.

Профилометр-профилограф модели 202 снабжен дополнительными устройствами для измерения шероховатости криволинейных поверхностей с радиусом кривизны от 4 до 80 мм и от 50 мм и больше и для измерения шероховатости поверхностей шариков и роликов от 1 до 25 мм. При измерении шероховатости на профилометре-профилографе допускаемая погрешность показаний составляет $\pm 10 \%$, а при использовании дополнительных устройств – погрешность $\pm 16 \%$.

Профилограф-профилометр модели 250 позволяет измерять все параметры шероховатости. Прибор снабжен индуктивным датчиком с иглой, которая находится в контакте с поверхностью детали. Получен-

ные в микрометрах значения измеренных параметров шероховатости R_a , R_{max} , S_m , t_p высвечиваются в окнах цифровой индикации. Прибор снабжен самописцем, позволяющим получить на бумаге графическое изображение реального профиля поверхности. По профилограмме можно определить параметры R_z и S . При этом скорость движения иглы датчика и ее смещение вдоль исследуемой поверхности задаются мотоприводом, смонтированным на стойке.

С помощью профилографа-профилометра можно измерять параметры шероховатости поверхности отверстий с наименьшим диаметром 3 мм (при глубине 5 мм). При работе в режиме профилографа возможно получить профилограмму при увеличении от 100 до 100 000 крат по вертикали и от 0,5 до 2000 крат по горизонтали.

К контактно-щуповым приборам относятся приборы, называемые профилометрами и профилографами.

Профилометры предназначены для непосредственного показа среднего арифметического отклонения профиля поверхности R_a .

Профилограф создан для записи профиля поверхности в виде профилограммы. Предназначен для визуального и графического отображения результатов измерений, статистической обработки с помощью высокопроизводительного компьютера через интерфейс RS-232, с возможностью вывода результатов на печать.



Рис. 77. Профилограф-профилометр «Абрис-ПМ7»

Профилограф-профилометр «АБРИС-ПМ7» состоит из следующих основных частей: первичного преобразователя; адаптера питания; системного блока; монитора; клавиатуры; печатающего устройства; кабеля соединительного; стойки С1-150.

Программно-аппаратный комплекс на базе IBM-совместимого персонального компьютера, входящего в состав профилографа-профилометра, обеспечивает прием сигналов, их обработку, расчет параметров шероховатости и вывод на экран монитора и печатающее устройство результатов расчета и профилограммы измеренного участка.

Первичный преобразователь базируется на измеряемую поверхность либо непосредственно основанием, либо с помощью дополнительных приспособлений таким образом, чтобы рабочая поверхность опоры, вершина иглы и рабочая плоскость основания находились в одной плоскости. При этом индикатор на первичном преобразователе должен светиться тем ярче, чем ближе к сбалансированному положению находится измерительный механизм датчика.

После этого дается команда на начало измерения нажатием пусковой кнопки. Алмазная игла измерительного механизма при ошупывании неровностей измеряемой поверхности совершает колебательные движения относительно опоры, движущейся по той же поверхности. Эти колебания затем преобразуются в колебания электрического напряжения на выходе первичного преобразователя, пропорциональные колебаниям ошупывающей иглы.

Возможна комплектация компьютером заказчика.

Высокопроизводительный персональный компьютер и программное обеспечение позволяет отладить и поддерживать на необходимом уровне технологический процесс изготовления и ремонта ответственных деталей машин и приборов, к которым предъявляются высокие требования по величине и форме микрорельефа сопрягающих поверхностей.

Таблица 13

Основные технические данные профилографов-профиломеров

Параметр	Абрис ПМ7	ПП Абрис ПМ7	Абрис ПМ7.3	ПП Абрис ПМ7.4
Определяемые параметры	R_a, R_z, R_{\max}	$R_a, R_z, R_{\max}, S_m, t_p$	R_a, R_z, R_{\max}	$R_a, R_z, R_{\max}, S_m, t_p$
Диапазоны измерения по параметрам:				
R_a , мкм	0,04...12,5	0,04...12,5	0,02...65	0,02...65
R_z, R_{\max} , мкм	0,16...50	0,16...50	0,1...250	0,1...250
S_m , мкм	—	8...250	—	8...250
t_p , %	—	0,1...99,9	—	0,1...99,9
Диапазон измерений профилографа, мкм	—	0,04...50	—	0,02...250

Нормирование шероховатости поверхности

Все поверхности любой детали, независимо от способа их получения, имеют макро- и микронеровности в виде выступов и впадин. Эти неровности, формирующие рельеф поверхности и определяющие ее качество, называют шероховатостью поверхности.

Таблица 14

Соотношение параметров и классов шероховатости

Классы шероховатости	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Достижимый при данном способе изготовления деталей класс шероховатости														
Опиливание														
Шабление														
Сверление														
Строгание														
Развертывание														
Точение														
Фрезирование														
Протягивание														
Шлифование														
Притирка														
Хонингование														
Прокат														
Литье в кокиль														
Литье под давлением														

Для более точной оценки шероховатости поверхностей применяют микроскопы сравнения, а для определения величины шероховатости в микрометрах – различные микроскопы (интерференционный, двойной) и контактные щуповые приборы.

Для аттестации рабочих образцов и фотографирования высот неровностей у деталей с ответственными, поверхностями применяют прибор, называемый интерферометром, модели МИИ-4 или МИИ-11. На этом приборе можно измерять шероховатость поверхности от 10-го до 14-го класса.

Несмотря на то, что параметры R_a , R_z , R_{max} характеризуют высоту поверхностных неровностей, их практически нельзя сравнивать и тем более надежно пересчитывать значения одного параметра в значения

другого. Тем не менее, между ними установлены следующие корреляционные зависимости для определенного вида обработки поверхности:

- для лезвийной обработки: $R_z = 5R_a$; $R_{\max} = 6R_a$;
- для шлифования: $R_z = 5,5R_a$; $R_{\max} = 7R_a$;
- для полирования и притирки: $R_z = 4R_a$; $R_{\max} = 5R_a$.

В технической документации, разработанной до 1975 года, использовали классы шероховатости по ГОСТ 2789–59; для их перевода можно пользоваться данными табл. 15.

Таблица 15

Классы шероховатости (ГОСТ 2789–59) и соответствующие им наибольшие значения параметров шероховатости (ГОСТ 2789–73)

Классы шероховатости	Параметры шероховатости, мкм		Базовая длина l , мм
	R_a	R_z	
1	80	320	8,0
2	40	160	
3	20	80	
4	10	40	2,5
5	5	20	
6	2,5	10	0,8
7	1,25	6,3	
8	0,63	3,2	0,25
9	0,32	1,6	
10	0,16	0,8	
11	0,08	0,4	
12	0,04	0,2	0,08
13	0,02	0,1	
14	0,01	0,05	

Контроль шероховатости поверхности изделий из пластмасс

Контроль шероховатости осуществляют непосредственным определением численных значений параметров или сравнительным методом, применяя образцы (ГОСТ 9378–75) или образцовые аттестованные детали. Контроль шероховатости сравнительным методом проводится визуально или на ощупь. Сравнение поверхностей изделия и образца невооруженным глазом допустимо до значений $\sqrt{0,63}$ включительно.

При контроле шероховатости поверхности изделий от $\sqrt{0,63}$ и выше следует пользоваться лупой с увеличением от 10^{\times} до 30^{\times} или микроскопом сравнения с увеличением от 50^{\times} до 300^{\times} .

Образец и сравниваемое с ним изделие должно быть из одного и того же материала и обработаны одним и тем же способом, иметь одинаковую геометрическую форму.

Шероховатость поверхности образца должна быть выдержана в пределах интервала поля допуска заданной шероховатости.

Контрольные вопросы

1. Применение очень точных измерительных средств иногда невыгодно из-за:
 - а) большой стоимости;
 - б) трудоемкости измерений;
 - в) «а» и «б».
 - г) ни «а», ни «б».

2. К основным показателям измерительных средств не относится ...:
 - а) цена деления шкалы;
 - б) масса;
 - в) пределы измерений;
 - г) «а» и «б».

3. Ценой деления шкалы измерительного средства (ИС) называется:
 - а) расстояние между двумя соседними отметками шкалы ИС;
 - б) разность значений величины, соответствующие двум соседним отметкам шкалы ИС;
 - в) наименьший размер, который можно измерить данным ИС;
 - г) ни одно из перечисленных выше.

4. Интервал деления шкалы ИС – это:
 - а) расстояние между двумя соседними отметками шкалы ИС;
 - б) разность значений величины, соответствующих двум соседним отметкам шкалы ИС;
 - в) наименьший размер, который можно измерить данным ИС;
 - г) ни одно из перечисленных выше.

5. Метод измерения – это:
 - а) измерительное средство (ИС);
 - б) приемы использования ИС;
 - в) «а» и «б»;
 - г) ни «а», ни «б».

6. Система СИ содержит... основных единиц:
- а) 5;
 - б) 6;
 - в) 7;
 - г) 10.
7. При многократных измерениях погрешность измерения от случайных ошибок уменьшается в ... раз, где n — число измерений:
- а) n ;
 - б) $1/\sqrt{n}$;
 - в) \sqrt{n} ;
 - г) $1/n$.
8. Штангенрейсмасы предназначены для измерения:
- а) наружных и внутренних диаметров;
 - б) глубин;
 - в) размеров по высоте деталей и для разметки;
 - г) измерительное усилие.

Глава 5
**МЕТРОЛОГИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
И МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ**

5.1. Световые измерения

Световые измерения — это количественные определения величин, характеризующих оптическое излучение (свет в широком смысле слова), оптические свойства материалов (прозрачность, отражательную способность) и пр. Световые измерения производятся приборами, в состав которых входят приёмники света. В простейших случаях в диапазоне видимого света приёмником, с помощью которого оцениваются световые величины, служит человеческий глаз.

Фотометрия — совокупность методов измерения энергетических характеристик электромагнитного излучения и световых величин: освещенности, силы света, светового потока, яркости и др.

Экспериментальные методы фотометрии основаны на абсолютных и относительных измерениях потока излучения различными селективными и неселективными приёмниками излучения (т. е. приёмниками, реакция которых зависит или не зависит от длины волны излучения). Для определения размерных фотометрических величин применяют либо фотометры с непосредственным сравнением неизвестного и известного потоков, либо фотометры, предварительно градуированные в соответствующих единицах измерения энергетических или редуцированных фотометрических величин. В частности, для передачи значений световых величин обычно используют сличаемые с государственными световыми эталонами образцовые и рабочие светоизмерительные лампы — источники с известными фотометрическими характеристиками. Фотометрия лазерного излучения в основном построена по принципу использования образцовых и рабочих спектрально неселективных приёмников излучения, сличаемых с государственными эталонами мощности и энергии когерентного излучения лазеров. Измерение безразмерных величин t и r выполняется фотометрами с применением относительных методов, путём регистрации отношения реакций ли-

нейного приемника излучения на соответствующие потоки излучения. Применяется также уравнивание реакций линейного или нелинейного приёмника излучения изменением по определённому закону в известное число раз сравниваемых потоков излучения.

Информационными параметрами оптического излучения (ОИ) являются пространственно-временные распределения его амплитуды, частоты, фазы, поляризации и степени когерентности. Для получения дефектоскопической информации используют изменения этих параметров при взаимодействии ОИ с объектом контроля в соответствии с явлениями интерференции, дифракции, поляризации, преломления, отражения, поглощения, рассеяния, дисперсии света, а также изменение характеристик самого объекта контроля под действием света в результате эффектов фотопроводимости, фотохромизма, люминесценции, электрооптических, механооптических, акустооптических и других явлений.

5.2. Измерение освещенности

Прибор для измерения освещенности называется люксметром. Выпускаемые люксметры различаются диапазонами измерений освещенности и конструкцией. Как правило, люксметры имеют в качестве приемника света селеновый фотоэлемент с запирающим слоем, являющийся одним из наиболее распространенных для светотехнических измерений приемником света. Поглощенная селеновым фотоэлементом энергия оптического излучения преобразуется непосредственно в электрическую, что позволяет осуществлять измерения без внешнего источника питания. Селеновый фотоэлемент имеет область спектральной чувствительности, перекрывающую спектр чувствительности глаза (рис. 78).

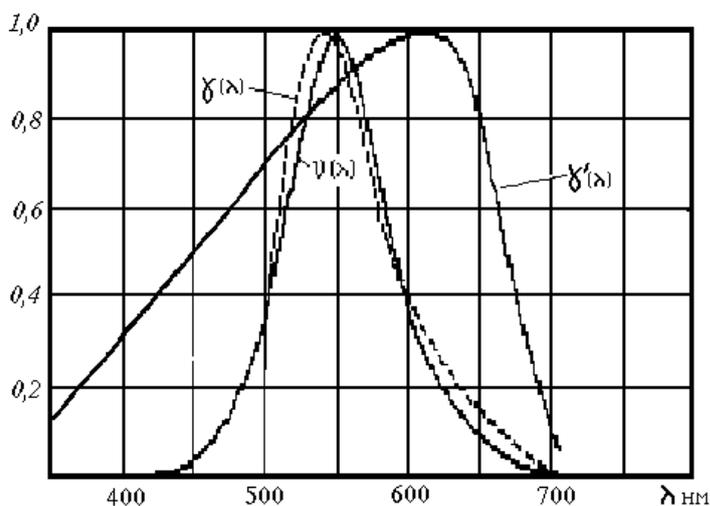


Рис. 78. Относительная спектральная световая эффективность излучения $\nu(\lambda)$, чувствительность селенового фотоэлемента $\gamma'(\lambda)$ и чувствительность селенового фотоэлемента с корректирующим светофильтром $\gamma(\lambda)$

Для исправления спектральной чувствительности селенового фотоэлемента вплотную к нему ставится корректирующий светофильтр, что позволяет получить спектральную чувствительности $\gamma(\lambda)$, подобную кривой спектральной световой эффективности излучения. В качестве корректирующего светофильтра используется как правило комбинация из двух стандартных светофильтров: ЗС-8 (толщиной 1,9 мм) и ЖЗС-18 (толщиной 2,1 мм).

Селеновый фотоэлемент при воздействии на него света является источником тока. Эквивалентная электрическая схема селенового фотоэлемента, замкнутого сопротивлением нагрузки R_H представлена на рис. 79.

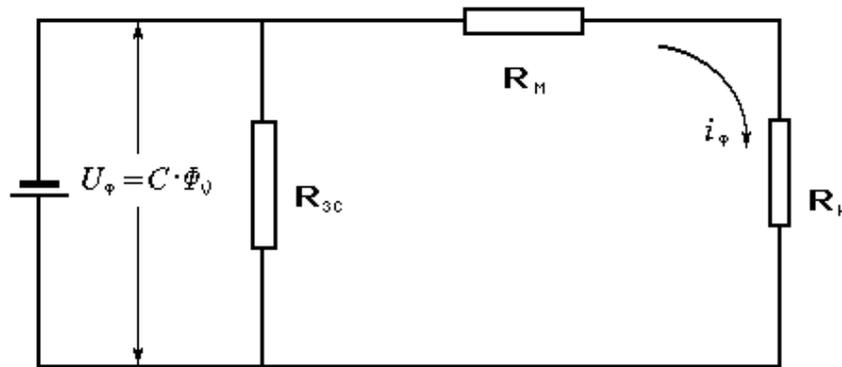


Рис. 79. Эквивалентная электрическая схема селенового фотоэлемента

В соответствии со схемой ток в цепи определяется выражением

$$i_{\phi} = \frac{U_{\phi}}{R} = C\Phi_{\nu} \left(\frac{1}{R_{3c}} + \frac{1}{R_M + R_H} \right);$$

где U_{ϕ} – фотоЭДС; R – сопротивление цепи; C – коэффициент пропорциональности; R_{3c} – сопротивление запирающего слоя; R_M – сопротивление материала фотоэлемента и контактов; R_H – сопротивление нагрузки, которое равно внутреннему сопротивлению измерителя тока.

Обозначив $R'_H = R_M + R_H$ общее сопротивление нагрузки источника тока, запишем:

$$i_{\phi} = C\Phi_{\nu} \left(\frac{1}{R_{3c}} + \frac{1}{R'_H} \right);$$

Величина R_{3c} является функцией освещенности: с увеличением освещенности сопротивление запирающего слоя падает. Например, для селенового фотоэлемента типа ФС-3 при освещенности 10 лм/м² –

$R_{3C} \approx 100...150 \text{ КОм}$; при $500 \text{ лм/м}^2 - R_{3C} \approx 5 \text{ КОм}$. Из выражения следует, что при $R_{3C} \gg R_H$, т. е. при малой освещенности фотоэлемента, величина фототока определяется только сопротивлением нагрузки. С повышением освещенности R_{3C} может стать сопоставимым с R_H , что скажется на световой характеристике — она (зависимость величины фототока от освещенности) ставится нелинейной. Поэтому для расширения диапазона измерений, в области которого световая характеристика линейна, используют измерители тока с малым внутренним сопротивлением.

Типичная зависимость величины фототока в цепи от освещенности фотоэлемента при различных значениях сопротивления нагрузки приведена на рис. 80.

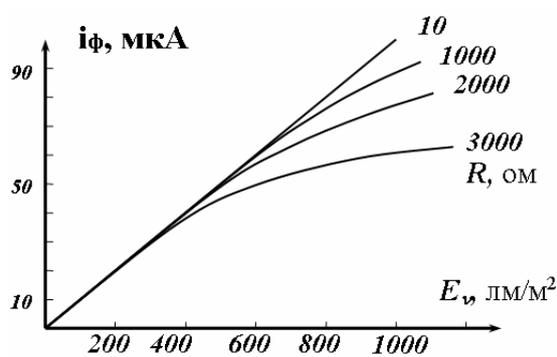


Рис. 80. Световые характеристики селенового фотоэлемента ФС-3 при различных сопротивлениях нагрузки

При постоянной освещенности селенового фотоэлемента его ток может немного изменяться в течение первых нескольких минут. Эта особенность называется утомляемостью. Утомляемость зависит от спектрального состава измеряемого излучения и различна для разных фотоэлементов. Как правило, уменьшение тока не превышает нескольких процентов от величины начального тока, поэтому погрешность измерений из-за утомляемости невелика.

Принципиальная электрическая схема люксметра представлена на рис. 81. Фотоэлемент в выносной головке с корригирующим светофильтром соединен гибким проводником с прибором. Измерение тока осуществляется микроамперметром, шкала которого градуируется в единицах освещенности при изготовлении прибора.

Для расширения диапазона возможных измерений микроамперметром соединен с фотоэлементом через делитель R_1 , R_2 , R_3 с переключателем Π . Как правило, с каждым шагом переключателя диапазон измерений изменяется на порядок. Последовательно с микроамперметром ставится ограничительное сопротивление R_0 для предотвращения перегорания прибора в случае замыкания цепи при больших токах.

С той же целью расширения диапазона измерений фотоэлемент может закрываться специальным нейтральным светофильтром в виде молочного стекла или сетки, уменьшающих поток прошедшего на фотоэлемент света. Коэффициент ослабления указывается на светофильтре. При измерениях выносная головка помещается в плоскости измерения освещенности. С помощью переключателя и нейтрального светофильтра устанавливается наиболее удобный для снятия показаний диапазон измерений, затем производится снятие показаний.

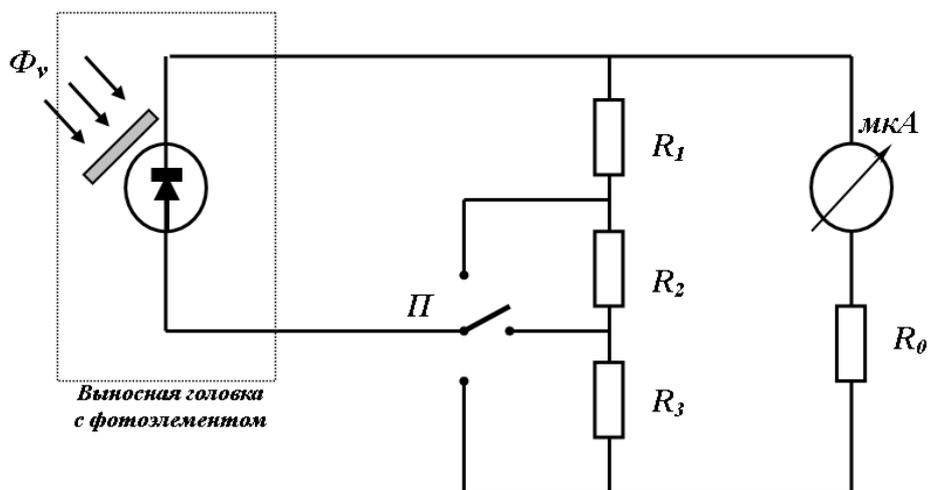


Рис. 81. Принципиальная электрическая схема люксметра

Градуировка люксметров производится с помощью ламп накаливания, имеющих цветовую температуру около 2800 К при падении света на фотоэлемент по направлению, близкому к нормали, и не превышающему угол к ней более, чем на 20° (ГОСТ 13582–80). Поскольку спектральная чувствительность фотоэлемента несколько отличается от спектральной чувствительности глаза (рис. 80), результат измерений освещенности от источников света со спектральным составом, отличающимся от эталонного, может несколько изменяться от истинного. Эти различия для фотоэлемента с корригирующим светофильтром невелики и обычно не превышают 5%. Поскольку спектральный состав используемого для освещения света обычно известен (лампы накаливания, люминесцентные лампы, ртутные, ксеноновые дуговые и др.), всегда можно ввести поправочный коэффициент для измерений освещенности. Значения поправочного коэффициента приводятся в инструкциях по пользованию люксметром. В практике измерения освещенности обычно не требуют высокой точности. В большинстве задач достаточными являются измерения с погрешностью до 10%.

Люксметр + УФ-Радиометр «ТКА-01/3»



Рис. 82. Люксметр +
УФ-Радиометр
«ТКА-01/3»

Область применения прибора. Промышленные предприятия и организации (службы охраны труда и техники безопасности, службы главного энергетика), учебные заведения, научные центры, музеи, библиотеки и архивы, предприятия транспорта и связи, центры метрологии и сертификации, медицинские учреждения, центры Госсанэпиднадзора, сельское хозяйство и многие другие.

Рекомендован для применения по результатам испытаний и экспертиз министерств и ведомств. Широко применяется при аттестации рабочих мест.

Назначение. Измерение освещенности (в лк) в видимом диапазоне спектра и энергетической УФ-облученности нм (в мВт/м²) в спектральном диапазоне 280...400 нм (зоны А + В)

Основные технические данные и характеристики.

Динамический диапазон измерения:

- освещенности, лк10...200 000
- энергетической освещенности УФ-излучения, мВт/м² ..10...40 000

Основная относительная погрешность измерения:

- освещенности, %8

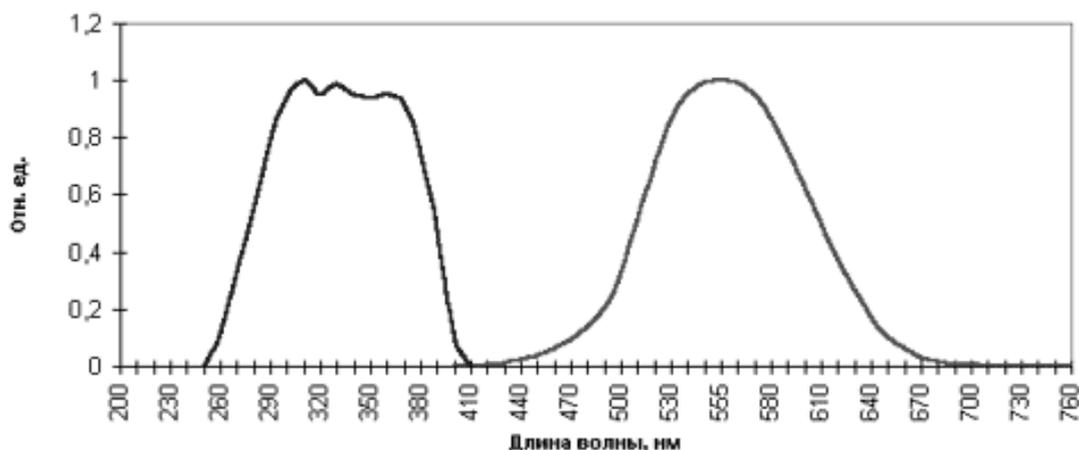


Рис. 83. Относительная спектральная чувствительность ТКА -01/3

Существенные преимущества перед аналогами. Возможность измерения излучения одним прибором в двух областях спектра, компактность и удобство в эксплуатации.

Таблица 16

Освещенность по Российским и международным нормам

Тип помещения	Освещенность, лк, по нормам	
	Российским (СНиП 23-05-95)	Международным (МКО)
Офисы общего назначения с использованием компьютеров	200...300	500
Офисы большой площади со свободной планировкой	400	750
Офисы, в которых производятся чертежные работы	500	1000
Конференц-залы	200	300
Лестницы, эскалаторы	50...100	150
Коридоры, холлы	50...75	100
Архивы	75	200
Кладовые	50	100

Таблица 17

Реальные уровни освещенности

Освещенность, лк	Внешнее восприятие	Примечание
Менее 1	Человек легко ориентируется в пространстве, различает препятствия. При переходе из ярко освещенного помещения требуется короткое время для адаптации	Экспериментальные данные
5	Легко читаются заголовки статей в РС Week/Re, показания механических и ЖК-часов	Экспериментальные данные
10	Освещенность около свечи	Справочные данные
15–20	Свет от сигареты на расстоянии 30 см	Справочные данные
15–35	Свет в кинотеатре во время перерыва	Справочные данные
50	Можно читать тексты в РС Week/RE, но зрение при этом напрягается	Экспериментальные данные
100	Длительное чтение еженедельника утомляет глаза	Экспериментальные данные
300	Комфортные условия для чтения еженедельника	Экспериментальные данные
400–500	Стандартное освещение офисов, библиотек	Справочные данные
1000	Ясный день, за 1 час до заката	Справочные данные
2000	Ясный день, через 1 час после восхода	Справочные данные
25 000	Облачный летний день в 10 часов утра	Справочные данные
65 000	Ясный летний день в 10 часов утра	Справочные данные
100 000	Ясный летний день в полдень	Справочные данные

Глава 6

ВИДЫ И ТИПЫ ДЕФЕКТОВ. ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДЕФЕКТОВ СВАРКИ

Трещины – наиболее опасный дефект сварных швов. Они являются сильными концентраторами напряжений. Выявленные трещины оставлять без исправления (подварки) обычно не разрешается. Сварные швы с трещинами исправляют по специальной технологии, гарантирующей надежную работу сварного соединения.

Усталостные трещины. Под действием циклических нагрузок в результате циклических пластических деформаций могут образовываться трещины. Даже если номинальные напряжения намного ниже предела упругости, локальные напряжения из-за наличия концентраций напряжений на включениях или механических повреждениях могут быть выше предела текучести. Следовательно, пластические деформации образуются локально в микромасштабе, но этого недостаточно для того, чтобы они были заметны визуально.

Для объяснения зарождения усталостных трещин локальными пластическими деформациями было предложено несколько эквивалентных моделей, рис. 84. В течение той части цикла, когда нагрузка возрастает, на наиболее удачно расположенной плоскости происходит сдвиг. На падающей части цикла сдвиг в обратном направлении происходит на параллельной плоскости скольжения, поскольку сдвиг по первой плоскости затруднен механическим упрочнением и окислением только что образованной свободной поверхности. В этом первом цикле сдвига может произойти выдавливание либо вдавливание поверхности металла. При последовательных циклах в условиях непрерывно продолжающегося пластического течения вдавливание может перерасти в трещину (рис. 84). Если в процессе циклического нагружения напряжения остаются растягивающими, то этот механизм все равно работает, поскольку возникающие при возрастании нагрузки пластические деформации во время разгрузки могут явиться причиной остаточных сжимающих напряжений. Пример образования трещины в циклическом процессе нагружения представлен на рис. 85.

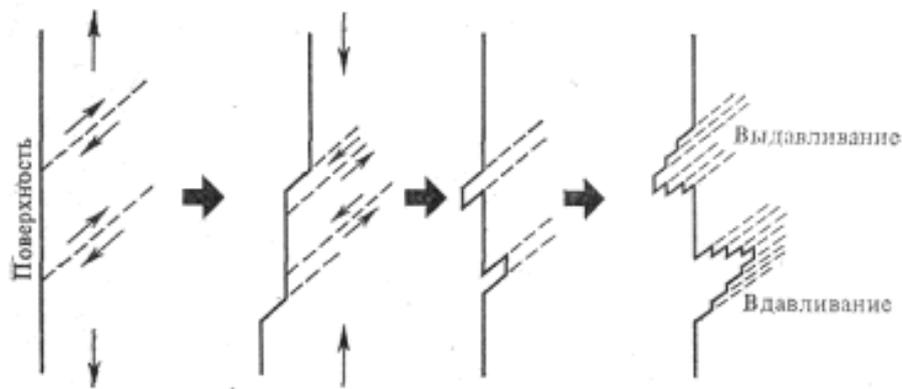


Рис. 84. Модель зарождения усталостной трещины Вуда

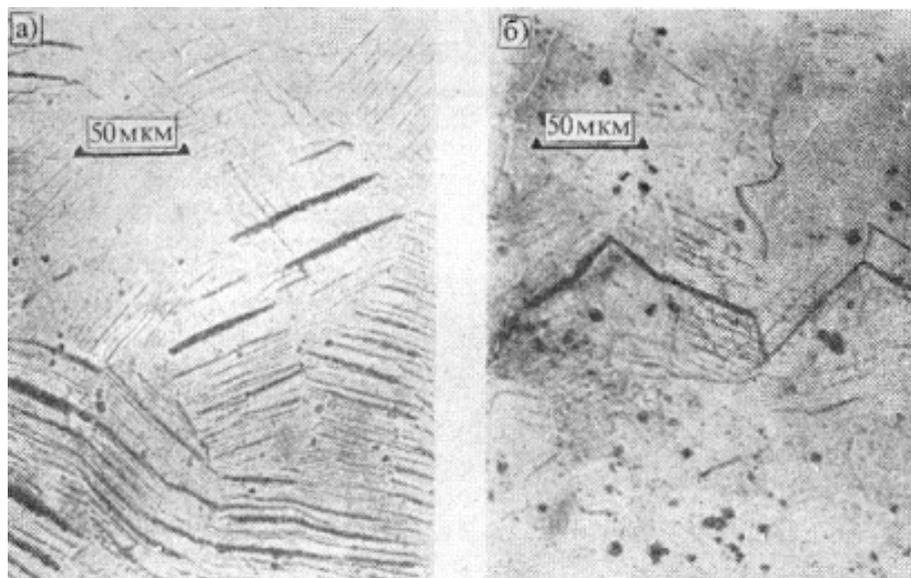


Рис. 85. Зарождение усталостной трещины в алюминиевом сплаве (по Сиджву):
а – вдавливание и выдавливание; б – трещина, образовавшаяся за счет сдвига

Усталостная трещина, однажды образовавшись, может расти за счет обратного. Несколько этапов роста усталостной трещины показаны на рис. 86. В поле растягивающих напряжений острая трещина вызывает образование больших концентраций напряжений при ее вершине, где очень легко может произойти сдвиг. В материале перед трещиной (этапы 1 и 2 на рис. 86) по одной из подходящих плоскостей скольжения в направлении наибольшего касательного напряжения может произойти сдвиг. Благодаря этому сдвигу трещина расширяется, одновременно увеличиваясь по длине. Теперь может произойти сдвиг в другой плоскости (этап 3). Механическое упрочнение и увеличивающееся напряжение окончательно ослабляют другие параллельные плоскости сдвига, что делает вершину трещины тупой (этап 4). На возрастающей части цикла трещина продвигается на величину Δa .

Пластическая деформация возникла в небольшом объеме, расположенном в области упругих деформаций. При разгрузке область упругих деформаций будет сжиматься, а ставшая слишком большой область пластических деформаций не будет более соответствовать своему окружению. Для того чтобы это соответствие не было нарушено, во время разгрузки участка цикла нагружения на область пластических деформаций со стороны упругой области действуют сжимающие напряжения. Эти сжимающие напряжения вновь будут превышать предел текучести, по крайней мере, в вершине трещины. Следовательно, здесь имеет место обратная пластическая деформация, которая приведет к сближению краев трещины и восстановлению остроты ее вершины (этап 5).

Циклическое расширение и сжатие трещины (этапы 1–5 и 6–7) приводят к образованию типичного рисунка, причем каждый новый цикл добавляет новую бороздку. Эти бороздки на поверхности разрушения видны в электронный микроскоп. И называют бороздками усталости. На рис. 86 показаны бороздки усталости промышленного сплава Al-Cu-Mg.

На рис. 87 представлена модель образования бороздок, дающая общее представление о процессах притупления вершины трещины и восстановления ее остроты. Эта модель синтезирует различные модели и

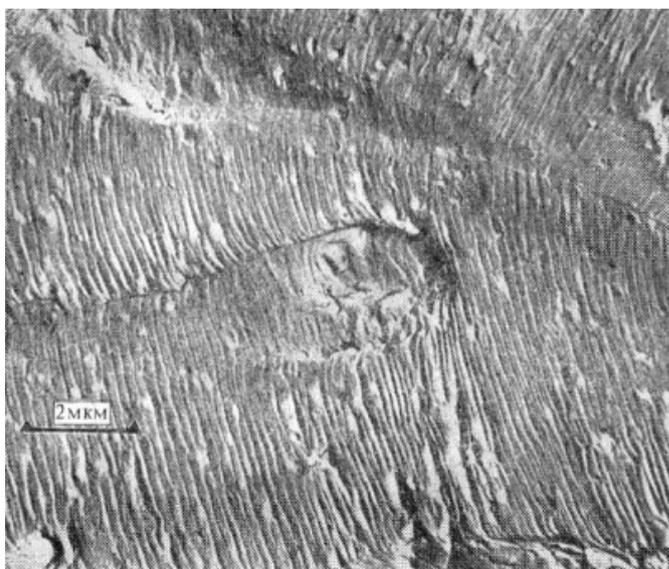


Рис. 86. Бороздки усталости на поверхности сплава Al-Cu-Mg, разрушенного при циклическом нагружении

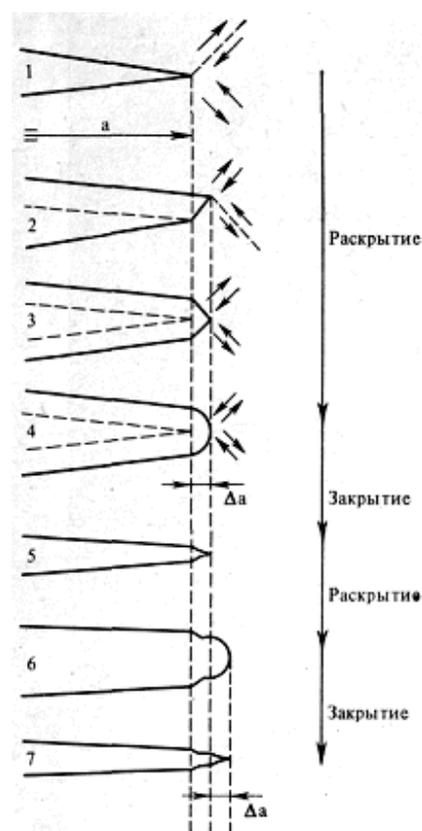


Рис. 87. Одна из возможных моделей роста усталостной трещины

позволяет дать оценку механизма роста усталостной трещины, достаточную для того, чтобы служить базой для изучения основ механики разрушения. Более детальная модель, позволяющая в ограниченных пределах проводить численный анализ, была недавно предложена Нейманом. Иногда в процессе распространения усталостной трещины может включаться механизм разрушения сколом. При этом образуются хрупкие бороздки, которые представляют собой последовательные положения фронта трещины при ее распространении. К этому заключению можно прийти, посмотрев рис. 88, на котором представлена электронная микрофотограмма образца, подвергнутого программированному испытанию на усталостную прочность. Программа нагружения состояла из пяти циклов малой амплитуды 6 ± 2 кгс/мм², за которым следовал один цикл большой амплитуды 7 ± 3 кгс/мм². Эта последовательность повторялась на протяжении всего испытания. История процесса нагружения легко определяется по микрофотограмме – участки из пяти прекрасно видимых бороздок чередуются с широкими бороздками, возникающими за счет периодических циклов большей амплитуды.

Это является доказательством того, что за каждый цикл образуется одна бороздка, а расстояние между бороздками является мерой, определяющей степень распространения трещины за цикл. Из рис. 87 можно заключить, что за один цикл трещина распространяется на 0,2 мкм. Этот факт дает возможность определить скорости распространения трещины при исследовании различных случаев разрушения.

Бороздки усталости лучше всего видны в алюминиевых сплавах. Для образования регулярной волнообразной структуры необходимо, чтобы имелось достаточно возможностей для пластического деформирования материала в окрестности вершины трещины, с тем, чтобы выполнялось условие распространения ее фронта. Бороздки должны иметь определенную длину, иначе их нельзя считать бороздками. Возможности материала для деформирования должны обеспечивать подобные деформации на некотором расстоянии от фронта трещины, иначе бороздки становятся нерегулярными и регулярная волновая структура не образуется. В материалах с ограниченными возможностями для деформирования бороздки могут быть либо слабо выражены и сведены к нескольким соответствующим образом ориентированным кристаллическим зернам, либо не образоваться совсем.

Для образования регулярной волнообразной структуры необходимы:

- наличие большого количества систем сдвига и легкий сдвиг в поперечном направлении, чтобы образовать фронт трещины и сохра-

нить его при прохождении через примыкающие друг к другу кристаллические зерна;

- наличие более чем одной кристаллографической плоскости, по которой возможен рост трещины.

Если эти условия выполняются, то сдвиг, который происходит при расширении и сжатии трещины, может приспособиться к условиям фронта трещины, что дает возможность образования хорошо различных бороздок. Очевидно, это справедливо для алюминиевых сплавов.

Если вышеприведенные требования не выполнены, сдвиг будет нерегулярным и образование периодической волнообразной структуры станет невозможным. Ориентация отдельных кристаллических зерен может быть подходящей для образования регулярной волнообразной структуры, но ограниченные возможности для скольжения могут помешать образованию бороздок на сколько-нибудь значительную длину вдоль фронта трещины в соседних кристаллических зернах с другой ориентацией. В этих случаях обычно наблюдаются слабо-обозначенные бороздки в небольшом количестве изолированных кристаллических зерен и спутанные следы скольжения в окружающих кристаллических зернах. Подобная картина представлена на рис. 89. В случае если кристаллические зерна деформируются слабо, бороздки могут не образоваться совсем. Если деформации подвергается лишь область вблизи кристаллического зерна, то усталостное разрушение может даже произойти внутри кристаллического зерна, как показано на рис. 90.

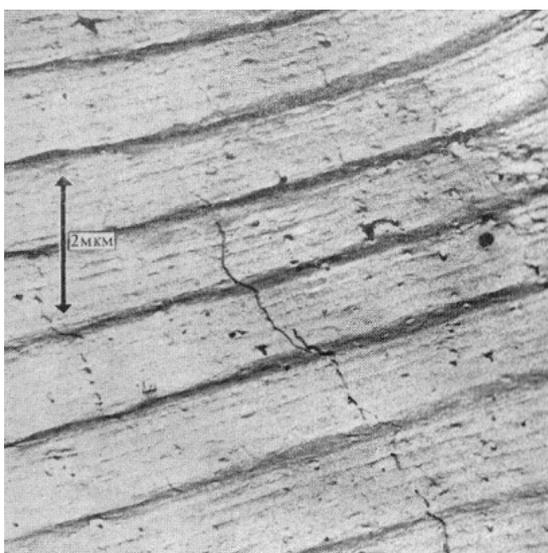


Рис. 88. Бороздки усталости в сплаве Al-Zn-Mg

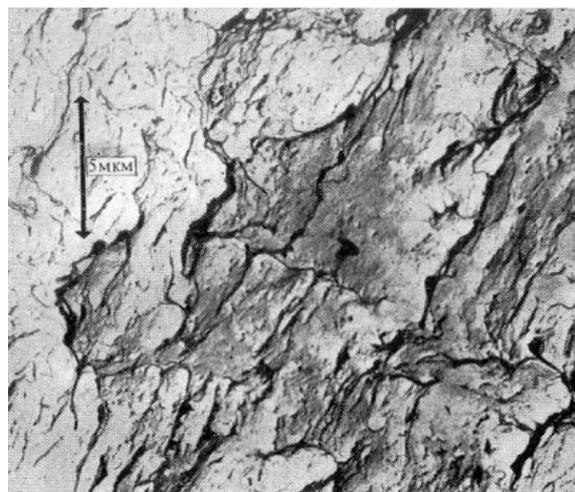


Рис. 89. Слабо развитые бороздки в высокопрочной малоуглеродистой стали

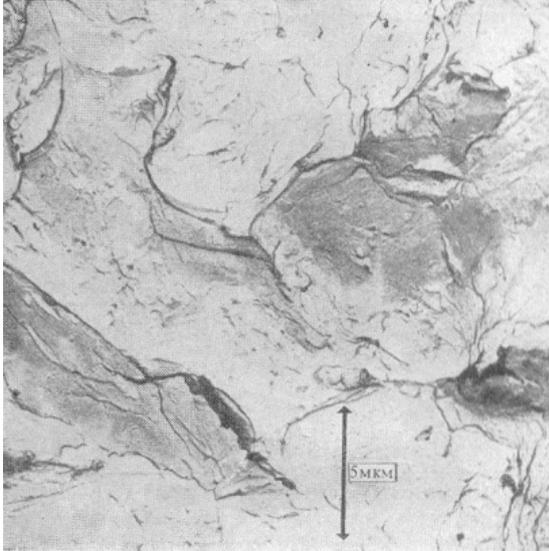


Рис. 90. Поверхность усталостной трещины, проходящая через кристаллические зерна в высокопрочной малоуглеродистой стали

Возникает вопрос: оказывают ли включения и частицы второго рода влияние на процесс усталостного разрушения? Поскольку речь идет о зарождении усталостных трещин, то следует ожидать, что они оказывают влияние. В гладких образцах местами концентраций напряжений являются включения. В таких местах может возникнуть необходимая пластическая деформация (см. рис. 84). Если имеются концентрации напряжений на механических выемках, то можно ожидать, что наличие частиц не обязательно для зарождения трещины, поскольку дополнительная концентрация напряжений, возникающая благодаря наличию частиц, не имеет большого значения.

По этой же причине следует ожидать, что частицы оказывают слабое влияние на процесс распространения трещины. В самом деле, при небольшой скорости распространения трещины их влияние весьма ограничено. На рис. 91 показано влияние на процесс распространения трещины сравнительно большой частицы. До тех пор пока фронт трещины не приблизился к частице на очень маленькое расстояние, она оставалась целой и последняя бороздка перед частицей все еще была прямой. В этот момент, как можно видеть из слабого речного узора на ее разрушенной поверхности, частица разрушилась. Из-за разрушения сколом частицы трещина в этом месте продвинулась вперед, но скорость ее распространения уменьшилась, что можно определить по близкому расположению бороздок перед частицей. Расположение бороздок в области А (рис. 91) указывает на слабое увеличение скорости распространения трещины всего на несколько циклов, которое имеет место из-за продвижения трещины в месте скола частицы. Расположение бороздок в области В показывает, что справа от частицы увеличение скорости произошло позднее. Несмотря на то, что частица, несом-

ненно, оказала влияние на локальное распространение трещины, средняя скорость распространения трещины существенным образом не изменилась, если принять во внимание размер частицы. Из-за весьма постоянного расположения бороздок множество более мелких частиц, которые были вытащены из матрицы, не оказывали заметного влияния на процесс распространения трещины, рис. 91.

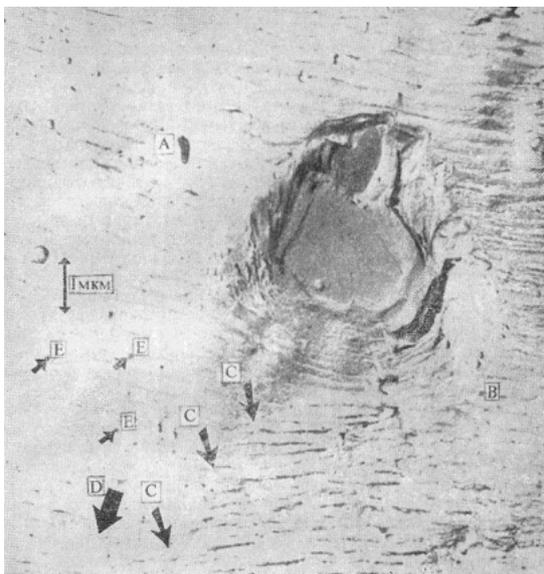


Рис. 91. Большая, разрушенная сколом частица на поверхности усталостной трещины в алюминиевом сплаве 2024-Т3. В областях А и В расстояние между бороздками увеличено. Через точки С проходит граница небольшого излома бороздок. Стрелка D указывает направление распространения трещины. Стрелки E указывают на небольшие включения

При больших скоростях распространения трещины (порядки 1 мкм за цикл и больше) картина совершенно иная, что легко видеть из рис. 91. Высокие скорости распространения трещины появляются в результате больших интенсивностей напряжения при вершине трещины (большие трещины или высокие нагрузки). Из-за больших концентраций напряжений частицы перед вершиной трещины могут расколоться или выскочить из матрицы, при этом образуется раковина (возможно, большая).

Оставшийся материал между раковиной и вершиной трещины может разрушиться за счет вязкого разрыва. Таким образом образуется местное быстрое продвижение трещины на большое расстояние. Это со всей очевидностью показывают области с ямками (рис. 91), которые свидетельствуют о механизме слияния пустот в процессе вязкого разрыва.

При таких больших скоростях распространения трещин влиянием включений пренебрегать нельзя. Сравнение поверхностей разрушения, полученных в работе, показывает, что из-за небольшого количества статических разрушений расположение волн при различных скоростях распространения трещин не одинаково. При более высоких скоростях расстояние между бороздками увеличивается, а поверхность разруше-

ния состоит главным образом из ямок. Отсюда следует, что рост скорости распространения трещин был бы значительно меньше, если бы отсутствовали включения. Если пренебречь включениями, то скорость распространения «действительно усталостной» трещины была бы около 0,5 мкм за цикл (рис. 92) вместо 1 мкм – скорости, которая действительно наблюдалась при испытании.

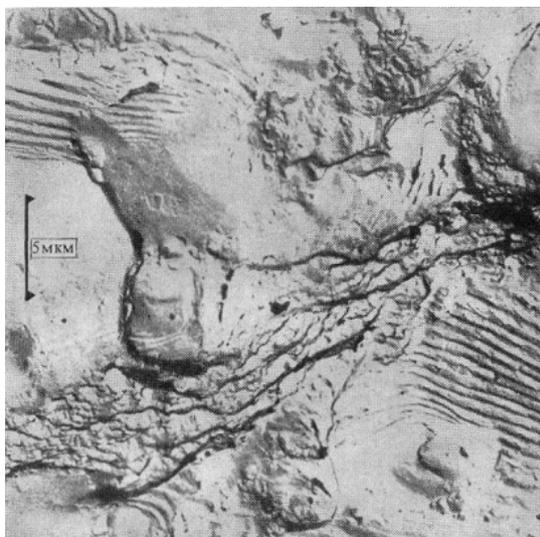


Рис. 92. Большая, разрушенная сколом частица, окруженная ямками, расположенными между бороздками усталости. Быстрое распространение трещины в алюминиевом сплаве

Влияние частиц на процесс распространения усталостной трещины существенно лишь при высоких скоростях ее распространения. Иными словами, частицы оказывают влияние только на самую последнюю, небольшую, часть процесса распространения трещины. Следовательно, для техники это не имеет большого значения, что подтверждается испытанием материалов с очень низким содержанием частиц.

6.1. Анализ разрушений в условиях эксплуатации

В настоящее время интерес к механике разрушения возрос по причине того, что до сих пор происходят разрушения в условиях эксплуатации. Соответствующее применение выводов механики разрушения к технике может улучшить положение, хотя случаи разрушения промышленных объектов не прекратятся. Большую пользу приносит доскональное исследование случаев разрушений промышленных объектов, которое позволяет получить информацию о недостатках прикладной механики разрушения.

Составной частью анализа случаев разрушения в условиях эксплуатации является электронная фрактография. Как было показано в предыдущих параграфах главы, имеется ряд очень хорошо видных на

фрактографиях характерных черт, позволяющих различать механизмы разрушения. При анализе случаев разрушения весьма полезны описания основных отличительных черт разрушения и множества вторичных отличительных признаков разрушения. Все это позволяет микроскописту во многих случаях выявить механизм, посредством которого произошло разрушение, хотя при этом встречаются определенные трудности, поскольку при разрушении в условиях эксплуатации редко получается отчетливая картина.

Фрактография является лишь частью анализа разрушения. С ее помощью можно сказать, как произошло разрушение, но едва ли можно определить, почему оно произошло. Для полного исследования случая разрушения в условиях эксплуатации необходимы детальный анализ проекта и детализировки неразрушенной части конструкции, истории нагружения и окружающей среды. В большинстве случаев в разрушении промышленных объектов, как оказывается, повинно неправильное проектирование деталей, а также дефекты материала или дефекты, возникшие при его обработке. Это значит, что анализом случаев разрушения промышленных объектов должны частично заниматься инженеры и проектировщики. Металлургия им нужна только для определения механизма разрушения и проверки свойств материала.

Циклическое нагружение

Явление снижения прочности материалов при напряжениях, циклически изменяющихся во времени, было известно давно. Но, вероятно, первым, кто коснулся этого вопроса в литературе и ввел термин усталость, был Ж. Понселе, который уже в 1828–1829 гг. в своем курсе говорил об усталости металлов.

Первой научной работой по прочности материалов при напряжениях, циклически изменяющихся во времени, являлась статья М. Рэнкина, опубликованная в 1843 г. Он установил, что усталостный излом вала начинается с появления маленькой трещины, которая постепенно растет и опоясывает центральную часть вала, в результате чего возникает его разрушение. Рэнкин был не согласен с общераспространенным в то время неверным мнением о том, что разрушение происходит в результате перехода волокнистой структуры сварочного железа в кристаллическое строение. Для увеличения прочности осей он рекомендовал увеличивать радиусы галтелей.

Установка для исследования выносливости железных стержней при изгибе Г. Джеймса и Д. Гальтона представлена на рис. 93.

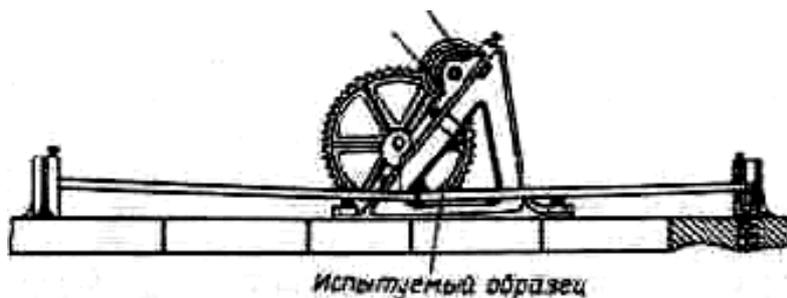


Рис. 93. Установка для исследования выносливости железных стержней

Экспериментальные исследования выносливости железных стержней при изгибе были произведены так, чтобы напряжения изменялись по пульсационному циклу (начало испытаний в 1848 г. на специально построенной для этого машине). Нагружение производилось вращающимся эксцентриком. Частота производимых им изгибов могла изменяться от 4 до 7 в мин.

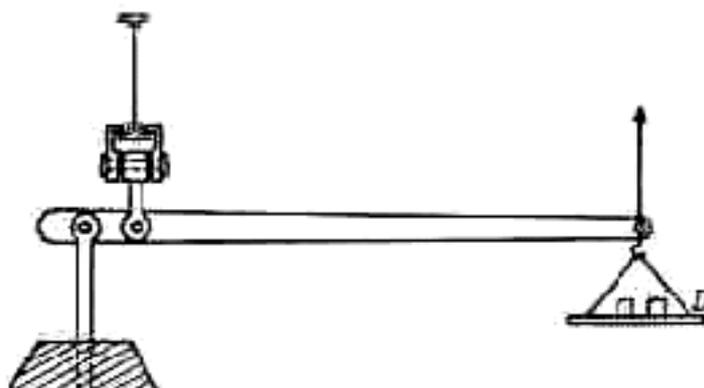


Рис. 94. Установка для определения выносливости балок

У. Фейрбейрн в 1864 г. произвел испытания на выносливость клепаных двутавровых балок, в которых грузом на конце консоли было создано постоянное во времени напряжение. На него накладывалось переменное напряжение, возникшее в результате движения конца консоли, прикрепленного к равномерно вращающемуся эксцентрику. Таким образом, возникал асимметричный цикл изменения напряжений. Число нагружений в минуту было равно 7–8.

Наиболее полное исследование выносливости было выполнено А. Велером в 1858–1870 гг. на сконструированной им машине, в которой два образца изгибаются по схеме консольной балки. Переменность напряжений достигалась за счет вращения образцов вместе с цилиндром, в котором они закреплены. Частота вращения в машине А. Велера была 15 об/мин.

Таким путем в образцах создавался симметричный цикл изменения напряжений. Этот принцип создания переменности напряжений за счет вращения образцов использовался в дальнейшем во многих машинах для испытаний на выносливость, однако схема консольной балки была заменена схемой двухопорной балки, нагруженной двумя одинаковыми силами на равном расстоянии от опор. В таком случае средняя часть образца находится в условиях чистого изгиба и влияние касательных напряжений на прочность исключено. Очевидно, А. Велер ввел понятие предела выносливости, который он называл предельным напряжением.

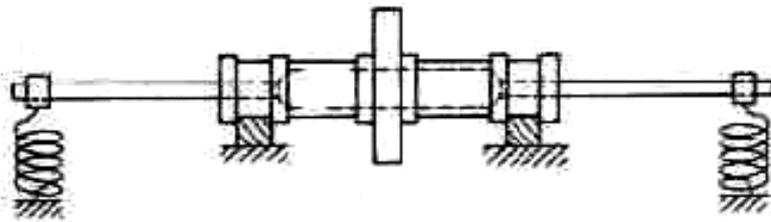


Рис. 95. Усталостная машина А. Велера

Интересно отметить, что при определении предела выносливости А. Велер не использовал график зависимости разрушающего напряжения от числа циклов, который обычно строится в полулогарифмических или логарифмических координатах и в курсе сопротивления материалов называется кривой А. Велера.

А. Велер установил отрицательное влияние на выносливость резких изменений диаметров образцов (ступенчатые валы) и дал верное объяснение этого явления как результата «неправильного распределения», т. е. концентрации напряжений. Для создания асимметричных циклов изменения напряжений Велер построил другую машину, в которой испытывались свободно опертые образцы прямоугольного поперечного сечения, а переменность напряжений создавалась эксцентриком, вызывавшим переменные прогибы. А. Велером были также построены машины для изучения выносливости при растяжении-сжатии и кручении образцов. Он установил, что предел выносливости при симметричном цикле в случае кручения составляет примерно 80 % такой же величины в случае растяжения-сжатия.

6.2. Элементы механики разрушения

1. Хрупкое и вязкое разрушение

Разрушение – процесс, включающий зарождение и развитие трещин. Разрушение может закончиться разделением тела на части.

Различают хрупкое разрушение, сопровождающееся минимальным поглощением энергии и малой предшествующей пластической деформацией, и вязкое (пластическое) разрушение, при котором материал обнаруживает значительную пластичность.

В общем случае при разрушении имеют место механизмы и пластического, и хрупкого разрушения. Их соотношение в значительной степени определяется температурой, при которой происходит разрушение. При комнатной температуре материалы условно разделяют на хрупкие (например, чугун) и пластичные (например, сталь) в зависимости от того, какой механизм разрушения преобладает.

2. Трещины

Зарождение разрушения во всех случаях связано с пластической деформацией, которая при этом неоднородна в микроскопическом масштабе.

Образование микротрещин часто происходит в результате скопления движущихся дислокаций перед препятствием (межзеренные и межфазные границы, включения и т. п.),

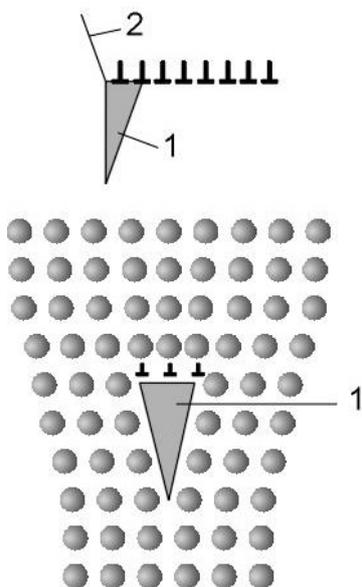


Рис. 96. Схема образования трещины:
1 – трещина; 2 – граница зерна

и межфазные границы, включения и т. п.), рис. 96.

Теоретические виды трещин. Трещина вводится в материал в два этапа. Сначала на образец наносят надрез, а затем к его внешним поверхностям прикладывают нагрузку, направление которой определяет специфические типы разрушения. Плоскость, по которой происходит разрушение материала, называется плоскостью скола, рис. 97.

Разрушение по типу I – единственный способ, ведущий к физическому разрушению, поскольку если внешнее напряжение физически не разделяет две поверхности в плоскости скола, то может происходить сращивание этих плоскостей даже при приложенном напряжении.

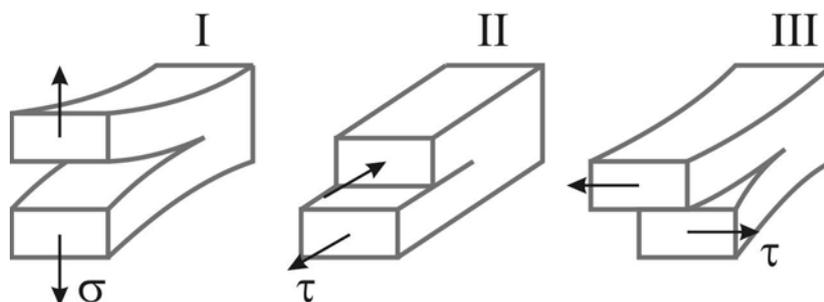


Рис. 97. Типы разрушения материала:

I – нормального разрыва; II – поперечного сдвига; III – продольного сдвига

3. Хрупкое разрушение

Хрупкое разрушение характеризуется очень быстрым ростом трещины, причем это происходит без повышения действующих напряжений, т. е. для развития хрупкого разрушения не требуется подводить энергию извне, а достаточно запасенной упругой энергии разрушающейся конструкции. Для стали скорость роста трещины достигает 2500 м/с.

Если в пластине, находящейся под действием растягивающих напряжений S , развивается перпендикулярная оси растяжения трещина длиной $l_{тр}$, упругая энергия пластины уменьшается и одновременно затрачивается работа на создание двух свободных поверхностей – стенок трещины. Результирующее изменение энергии пластины зависит от соотношения вкладов этих двух составляющих разного знака.

Критическая длина трещины. Многие детали могут длительно работать при наличии трещин, но не более определенного размера.

Критическая длина опасных трещин определяет границу резкого снижения прочности и хрупкого разрушения детали. Начиная с некоторой критической длины $l_{кр}$, при раскрытии трещины уменьшение запасенной упругой энергии перекрывает увеличение поверхностной энергии.

При превышении критической длины развитие трещины идет за счет запасенной энергии упругой деформации, не требуя увеличения растягивающей нагрузки.

Критическая длина трещины зависит от вязкости разрушения (трещиностойкости) стали, уровня остаточных напряжений, конструкции детали, температуры ее эксплуатации, скоростей приложения нагрузок.

Концентрация напряжений. Под концентрацией напряжений понимают местное увеличение напряжений в области изменения формы и размеров детали (у отверстий, канавок, в местах перехода от одного сечения к другому по галтели и т. д.). Причина, вызвавшая концентра-

цию напряжений (отверстие, канавка и др.), называется концентратором напряжений.

В вершине трещины под нагрузкой уровень концентрации напряжений $\sigma_{тр}$ значительно превышает их среднюю величину

$$\sigma_{тр} = 2\sigma_{ср}(l_{тр}/r_{тр})^{1/2} = K\sigma_{ср},$$

где $l_{тр}$ и $r_{тр}$ – длина и радиус закругления трещины в ее вершине; K – коэффициент концентрации напряжений, в хрупких телах достигающий значений $K = 10$.

Соотношение Гриффитца. Критическая длина трещины $l_{кр}$ и соответствующее ей критическое растягивающее напряжение связаны соотношением Гриффитца:

$$\sigma_{кр} = (2EA/\pi l_{кр})^{1/2} = K1_c/(\pi l_{кр})^{1/2},$$

где A – сумма удельной поверхностной энергии и работы пластической деформации; E – модуль Юнга; $K1_c$ – критерий Ирвина (вязкость разрушения, критический коэффициент интенсивности напряжений в приближении плоского деформированного состояния – жесткого трехосного напряженного состояния).

Чем больше действующее напряжение, тем более короткие трещины способны к закритическому, лавинообразному развитию.

В вершине малых трещин и при малых толщинах деталей реализуется плоское напряженное состояние с растягивающими напряжениями, направленными поперек и вдоль трещины.

4. Вязкое разрушение

В пластичных сталях при малых размерах деталей и трещин после достижения напряжением в вершине трещины значения, равного сопротивлению пластической деформации, возникающие деформации резко снижают уровень напряжений, и разрушение таких деталей становится вязким, сопровождаясь значительными пластическими деформациями. При больших трещинах предел текучести в вершине возрастает в 3...5 раз, что ведет к хрупкому разрушению стали.

Вязкое разрушение характеризуется не только предшествующей ему большой пластической деформацией, но и медленным развитием трещины.

Образование шейки при растяжении. При растяжении цилиндрических образцов из пластичных металлов развивается локализация деформации в виде местного сужения – шейки, в которой и происходит вязкое разрушение.

У очень чистых металлов шейка может сужаться до точки. Образец разделяется на части срезом (скалыванием), рис. 98, а. Для вязкого разрушения промышленных металлов и сплавов более типичен излом «чашечка» — конус, рис. 98, б.

5. Виды разрушения поликристаллических тел

Если поверхность разрушения проходит внутри кристаллических зерен, то разрушение называют внутрикристаллитным (внутризеренным, транскристаллитным), а если по границам зерен — межкристаллитным (межзеренным, интеркристаллитным). Часто встречается и смешанное разрушение.

В отличие от вязкого разрушения, хрупкое распространяется внутри отдельных зерен вдоль плоскости с наиболее плотной упаковкой атомов — плоскости скола.

При ползучести выделяют два типа межзеренного разрушения — разрушение клиновидной трещиной, обычно зарождающееся в точке встречи трех зерен, и кавитационное разрушение, при котором по границам образуются многочисленные мелкие поры, увеличивающиеся со временем, сливающиеся и приводящие к полному разрушению образца.

Внешний вид хрупкого излома — светлый, а вязкого — матовый из-за наличия уступов, образующихся при пластической деформации.

6. Хладноломкость

Понижение температуры обуславливает переход от вязкого к хрупкому разрушению. Это явление получило название хладноломкости.

Ниже некоторой температуры, которая называется критической температурой хрупкости, или порогом хладноломкости $t_{н.х.}$, и возникает хрупкое разрушение.

7. Масштабный фактор

Металлургический фактор. С ростом размеров заготовок увеличивается неоднородность материала, затрудняется качественное проведение термической обработки по всему объему материала, снижается степень деформации при ковке, что отрицательно сказывается на механических свойствах материала (снижаются механические характеристики). Причем уменьшение их наблюдается по мере смещения от периферии к центру заготовки.



Рис. 98. Виды шеек при растяжении:
а — срез (скалывание);
б — «чашечка» — конус

Технологический фактор связан с различиями в свойствах поверхностного слоя деталей малых и больших размеров, формирующихся в процессе однотипной механической обработки.

Статистический фактор связывают со статистической природой процесса усталостного разрушения. Это объясняется тем, что прочность структурных элементов материала вследствие его неоднородности изменяется случайным образом. С увеличением объемов детали увеличивается вероятность появления более слабых структурных элементов, что и приводит к снижению предела выносливости.

8. Усталостное разрушение

Процесс зарождения усталостных трещин можно подразделить на несколько стадий. Первая стадия – развитие интенсивных полос скольжения – сдвигового образования на поверхности металла, состоящего из ряда следующих одна за другой задержанных дислокаций. Образование полос скольжения можно объяснить поперечным скольжением дислокаций.

Деформационное упрочнение, создаваемое после каждого акта скольжения, препятствует обратному скольжению материала в той же плоскости, что приводит к образованию интрузий («вдавливаний») и экструзий («выдавливаний») – вторая стадия.

Третья стадия – образование трещин и разрушение образца.

Контрольные вопросы

1. Трещины в сварном шве обычно классифицируются по:
 - а) параметрам их размеров;
 - б) форме;
 - в) условиям и причинам их возникновения;
 - г) всему перечисленному.

2. Необходимым условием и первой причиной возникновения горячих трещин является наличие:
 - а) температурно-временных интервалов хрупкости кристаллизующихся сплавов;
 - б) высокотемпературных деформаций;
 - в) структурных деформаций;
 - г) «б» и «в».

3. Конечные размеры трещин в сварных соединениях можно объяснить:
 - а) ограниченностью зон сварных соединений;
 - б) частичным снятием напряжений при разрывах металла;

- в) конечными размерами кристаллитов;
 - г) «а» и «б».
4. Радиальные трещины — это трещины:
- а) с округлой конфигурацией;
 - б) исходящие из одной точки;
 - в) звездообразные;
 - г) «б» и «в».
5. Непровары в сварном шве могут быть вызваны:
- а) загрязнением элементов сварных соединений;
 - б) неправильной подготовкой элементов сварных соединений;
 - в) блужданием дуги;
 - г) всеми перечисленными факторами.
6. Причиной прожога может быть:
- а) значительное притупление кромок;
 - б) недостаточное притупление кромок;
 - в) пониженные режимы сварки;
 - г) все перечисленное.
7. Скопление мелких пор в ядре литой зоны при точечной сварке наиболее вероятно при сварке:
- а) низкопрочных сталей;
 - б) высокопрочных сталей;
 - в) жаропрочных сталей;
 - г) «б» и «в».
8. Слишком большой диаметр ядра сварной точки может сформироваться в результате:
- а) форсированных режимов сварки;
 - б) увеличения сварочных усилий;
 - в) очень чистой поверхности свариваемых деталей;
 - г) «б» и «в».
9. В результате завышения угла скоса кромок происходит:
- а) недорасход электродного материала;
 - б) деформация сварного соединения;
 - в) заметная усадка наплавленного металла;
 - г) «б» и «в».
10. На прочность сварного соединения в основном влияет качество выполнения:
- а) первого слоя;
 - б) второго слоя;

- в) последнего слоя;
 - г) «б» и «в».
11. Дефект типа «неслитина» обычно наблюдается в ... частях отливки:
- а) тонких;
 - б) толстых;
 - в) «а» и «б»;
 - г) ни «а», ни «б».
12. Причиной разностенности может быть ... стержня:
- а) смещение;
 - б) деформация;
 - в) всплывание;
 - г) все вышеперечисленное.
13. Дефект типа «плена» характерен для ... сплавов:
- а) стальных;
 - б) чугуновых;
 - в) алюминиевых;
 - г) всех.
14. Какой дефект отливки из стали или чугуна может возникнуть при слабом креплении формы:
- а) подутость;
 - б) неслитина;
 - в) ужимина;
 - г) уход металла.
15. Жидкотекучесть металла зависит:
- а) от его физических свойств;
 - б) его химических свойств;
 - в) свойств формы;
 - г) всего перечисленного.
16. Горячие трещины в отливках из чугуна и стали обычно возникают в:
- а) толстых сечениях;
 - б) тонких сечениях;
 - в) местах перехода от толстых сечений к тонким;
 - г) «а» и «б».
17. Утяжины обычно образуются в ... сечениях отливок:
- а) толстых;
 - б) тонких;
 - в) средних;
 - г) «б» и «в».

18. При литье тяжелых цветных сплавов раковины часто располагаются:
- а) в центре сечений отливок;
 - б) под коркой металла;
 - в) в нижних частях отливки;
 - г) «а» и «б».
19. При недостаточном перемешивании цветного сплава перед заливкой может образоваться дефект типа:
- а) королек;
 - б) газовая пористость;
 - в) ликвация;
 - г) горячие и холодные трещины.
20. Основными приемами исправления дефектных отливок может быть:
- а) заварка;
 - б) заделка эпоксидными компаундами;
 - в) пропитка герметизирующими материалами;
 - г) все перечисленное.
21. Измерение действительных размеров единичных отливок производится:
- а) универсальным инструментом;
 - б) предельными калибрами;
 - в) «а» и «б»;
 - г) ни «а», ни «б».
22. Наиболее распространенными методами исправления дефектных отливок могут быть:
- а) заварка дефектов газовой сваркой;
 - б) заварка дефектов электродуговой сваркой;
 - в) заварка дефектов плазменной сваркой;
 - г) «а» и «б».
23. После очистки от формовочной смеси можно выявить:
- а) мелкие горячие трещины;
 - б) мелкие холодные трещины;
 - в) подутости;
 - г) «а» и «б».

Глава 7
**АТТЕСТАЦИЯ СПЕЦИАЛИСТОВ III УРОВНЯ
ПО ВИЗУАЛЬНОМУ И ИЗМЕРИТЕЛЬНОМУ КОНТРОЛЮ**

**7.1. Квалификационный экзамен специалиста
по неразрушающему контролю III уровня**

Квалификационный экзамен на III уровень квалификации включает:

- общий экзамен по основам определенного метода НК;
- специальный экзамен – это экзамен по способам контроля, применяемых в определенном промышленном секторе, а также по знаниям контролируемой продукции и применяемых стандартов, технических условий и критериев приемки;
- экзамен по проверке знаний правил безопасности;
- практический экзамен, при котором претендент на III уровень демонстрирует способность составлять методику по одному или нескольким методам НК;
- базовый А, содержащий вопросы:
 - технологии изготовления материалов и сварных соединений, материаловедению, типам дефектов;
 - квалификации персонала и процедуры аттестации, знание настоящих Правил.
- базовый В – общие знания по четырем методам НК в соответствии с требованиями II уровня, кроме основного, на который кандидат аттестуется.

На рис. 99 представлена структурная схема квалификационного экзамена специалистов НК III уровня по визуальному и измерительному контролю.

Для каждого уровня квалификации и метода НК разрабатываются сборники вопросов по общим и специальным экзаменам, где каждый вопрос имеет многовариантные ответы. Допускается сдача специального экзамена по схеме вопрос – развернутый письменный ответ (без многовариантных ответов).



Рис. 99. Структурная схема квалификационного экзамена специалистов по неразрушающему контролю III уровня

В сборник вопросов по радиационному контролю должны быть включены вопросы по радиационной безопасности.

Вопросы на экзамены выбираются из сборника случайным образом, минимальное требуемое количество вопросов в сборниках и на экзаменах приведено в табл. 1 и 2 приложения 6.

Если специальный экзамен охватывает два или более объектов контроля, количество вопросов должно быть соответственно увеличено – не менее чем на 10 вопросов по каждому дополнительному объекту контроля.

При аттестации по двум и более объектам контроля, НК которых проводится по одной нормативно-методической документации, специальный экзамен сдается по этой документации.

Экзамен по проверке знаний правил безопасности заключается в проверке знаний кандидатом устройства, требований безопасности при эксплуатации объектов, а также при проведении операций НК, требований к качеству технических устройств, зданий, сооружений. Кандидат должен ответить не менее чем на 10 вопросов по конкретному объекту контроля, выбранных случайным образом из сборника вопросов с многовариантными ответами, или на билет, включающий 5 вопросов. Экзамен по проверке знаний правил безопасности сдается по каждому объекту контроля отдельно.

- Продолжительность экзамена на III уровень по основному методу:
- общий и специальный – 3 часа;
 - практический – 4 часа для составления проекта одной методики.
- Общая продолжительность базового экзамена около 3,5 часов.
Базовый экзамен сдается первым, и его результаты действительны пять лет, в течение которых должен быть сдан экзамен по основному методу.

7.2. Оценка квалификационных экзаменов кандидатов на III уровень

Результаты базового экзамена и общего экзамена по основному методу НК считаются действительными для всех объектов контроля.

При оценке результатов квалификационного экзамена кандидата на III уровень квалификации отдельно рассчитываются и оцениваются результаты базового экзамена и экзамена по основному методу, и оформляется итоговый протокол.

Экзаменационная комиссия при собеседовании по выполненной практической работе дает оценку результатов практического экзамена в соответствии с утвержденной методикой балльной оценки практического экзамена.

Оценка квалификационных экзаменов кандидатов на III уровень квалификации. Суммарная оценка базового экзамена рассчитывается в соответствии со следующей формулой:

$$N_{\text{баз}} = 0,5N_A + 0,5N_B, \%$$

где $N_{\text{баз}}$ – суммарная оценка; N_A – оценка по части А; N_B – оценка по части В.

Результаты базового экзамена заносятся в итоговый протокол.

При оценке результатов экзамена по основному методу для кандидатов на III уровень квалификации результаты общей и специальной части экзамена оцениваются в соответствии ПБ 03-440-02.

Практический экзамен оценивается с учетом технического содержания разработанной методики, умения кандидата обосновать предусмотренные методикой контроля процедуры, в соответствии с критериями оценки.

Суммарная оценка экзамена по основному методу рассчитывается в соответствии со следующей формулой:

$$N_{\text{осн}} = \frac{N_{C_1} + N_{C_2} + N_{C_3}}{3}, \%$$

где $N_{\text{осн}}$ – суммарная оценка основного экзамена; N_{C_1} – оценка по части C_1 (общий экзамен); N_{C_2} – оценка по части C_2 (специальный экзамен); N_{C_3} – оценка по части C_3 (практический экзамен).

По результатам квалификационного экзамена оформляется итоговый протокол, который подписывается членами экзаменационной комиссии и руководителем экзаменационного центра.

7.3. Аттестация и переаттестация российских и зарубежных специалистов в области неразрушающего контроля на I, II, III международных уровни

7.3.1. Сравнение требований и области применения нормативных документов SNT-TC-AM, EN 473, ПГР, ISO 9712, NORDTEST

Все важнейшие нормы по квалификации персонала содержат близкие требования к признакам сертификации, но расходятся в определении сертифицирующей инстанции.

Американские нормы согласно инструкции SNT-TC-IA определяют для лица (кандидата), подлежащего аттестации, предприятия (работодателя) в качестве сертифицирующей инстанции. Европейские нормы EN 473, NORDTEST, ПГР и международный стандарт ИСО 9712 в качестве сертифицирующей инстанции устанавливают внепроизводственный аттестационный орган.

Аттестация предприятием имеет наибольшее распространение в мире и до настоящего времени осуществляется по контрактам между изготовителем и заказчиком в таких отраслях промышленности, как авиационная, машиностроительная и т. п. Это обусловлено следующими причинами:

- а) американские нормы по инструкциям SNT-TC-IA и MIL-Standard были установлены в конце 60-х годов, в то время как нормы внепроизводственной аттестации были разработаны лишь в начале 80-х годов;
- б) проще и дешевле осуществить аттестацию персонала непосредственно на предприятии, если этого требует заказчик;
- в) аттестация на предприятии тесно связана с практической работой специалиста на конкретном рабочем месте (например, если просвечивание объектов контроля осуществляется на предприятии только с использованием рентгеновской техники, нет необходимости обучать персонал работе с гамма-дефектоскопами).

К предприятию (работодателю) как к сертифицирующей инстанции предъявляются два важных требования. Оно должно иметь пись-

менную программу сертификации, так называемое «written practice» и располагать высококвалифицированным персоналом для проведения сертификации, т. е. иметь, по крайней мере, одного экзаменатора с III уровнем квалификации.

В случае сертификации работодателем ему предоставляется большая свобода в действиях по аттестации, что, как известно, может приводить к злоупотреблениям, которые с трудом устанавливаются лишь при внешних проверках. Исследования Американского общества по НК показали, что фальсификация срока работы специалиста в области НК и времени его обучения происходит лишь на небольших предприятиях. При этом очень часто контрольные вопросы известны экзаменуемым еще до проведения квалификационного экзамена.

С конца 70-х годов считается целесообразным аттестацию специалистов III уровня проводить вне предприятий. Комбинация централизованно сертифицируемого III уровня с производственно сертифицируемым I и II уровнем была зафиксирована в 1989 г. в национальном американском стандарте ANSI CP-189.

Стандарт ИСО 9712 дает определение национальной сертифицирующей инстанции (аттестационного органа), не разъясняя, как можно гарантировать его объективность при аттестации специалистов. Поэтому он был отклонен, прежде всего, в европейских странах и не был принят в качестве Евростандарта. Хотя новый Евростандарт EN 473 и включил большую часть содержания ИСО 9712, он вместо определения «национальная сертифицирующая инстанция» содержит определение «независимая сертифицирующая инстанция (независимый аттестационный орган)».

Независимые сертифицирующие инстанции должны быть аккредитованы Национальными советами (например, в Германии — это Германский совет по Аккредитации DAR), которые выдают свидетельства по аккредитации. Нормативной основой аккредитации является Евростандарт EN 45013. Независимость сертифицирующей инстанции проверяется впоследствии Управленческим советом, который на паритетных началах должен состоять из пользователей системы. Только Управленческий совет отвечает за политику сертифицирующей инстанции и контролирует ее финансы, что приводит в конечном итоге к независимости сертификационной инстанции от посторонних интересов.

Сертифицирующая инстанция согласно Евростандарту должна иметь руководителя и компетентный персонал для выполнения своих задач. Она должна описать собственную систему аттестации в своем

стандарте (вместо «written practice») и располагать документированной системой обеспечения качества, которая излагается в руководстве.

Каждая инстанция, которая выполняет эти условия, может быть аккредитована, т. е. не существует никакой национальной монополии в выдаче свидетельства по аттестации. В Германии, кроме Германского общества неразрушающего контроля (DGZfP), существует еще и другая сертифицирующая инстанция – SECTOR Cert.

Хотя, согласно нормам EN 473, выдача сертификата осуществляется вне предприятия, отнюдь не верно заключение, что работодатель исключается из процесса сертификации. Он должен дать подтверждение о профессиональной подготовке, профессиональном опыте и физической пригодности кандидата. Кроме того, сертификат, полученный вне предприятия, автоматически не дает права использовать специалиста на предприятии по соответствующему профилю, что имеет место при сертификации работодателем. Предприятие должно «специализировать» контролера для проведения им конкретного вида деятельности по НК. Для подобной специализации могут потребоваться последующие производственные квалификационные мероприятия, если подтверждение сертифицирующей инстанции недостаточно для работодателя (очень специфичные виды продукции, техника проверки, аппаратура, требования клиента). Таким образом, для европейского стандарта EN 473 характерно тесное сотрудничество между сертифицирующей инстанцией и работодателем.

По Евростандарту самой сертифицирующей инстанции нужно провести только завершающий процесс сертификации. Все остальные виды деятельности она может делегировать другим инстанциям, а именно экзаменационным центрам и уполномоченным по приему экзаменов (экзаменаторам).

Прямо или косвенно многие аттестационные мероприятия могут таким образом проводиться работодателем. Но если работодатель в последующем оставляет в своих руках значительную долю видов деятельности по аттестации, сертифицирующая инстанция остается ответственной за все аттестационные мероприятия. Она должна убедиться в надлежащем выполнении делегированных предприятию видов деятельности, вести всю документацию по сертификатам, а также выдавать сертификаты и разрешать деятельность этих инстанций (делегирование полномочий).

Экзаменационные центры и уполномоченные по приему экзаменов. Сертифицирующая инстанция может учреждать экзаменационные

центры на предприятиях, где имеются следующие необходимые условия: квалифицированный персонал; соответствующие помещения и приборы; экзаменационные вопросы и задания, которые признаны сертифицирующей инстанцией или исходят от нее; методика экзамена, которая установлена сертифицирующей инстанцией или исходит от нее; документация по сданным экзаменам. Путем аудита проверяется, выполняются ли данные условия для надлежащего проведения квалификационных экзаменов (и при необходимости обучения).

При децентрализованной сертификации, т. е. согласно SNT-TC-IA, специалист III уровня квалификации вправе принимать квалификационные экзамены по всем уровням и видам контроля, по которым он сам сертифицирован. Если у работодателя имеется специалист III уровня, то ему нет необходимости пользоваться сторонними услугами. В рамках норм EN 473 это возможно только тогда, когда на предприятии создан экзаменационный центр и внешней сертифицирующей инстанцией делегировано право приема экзаменов по III уровню, уполномоченному по приему экзаменов. Однако он имеет право принимать квалификационный экзамен у тех лиц, которых сам не готовил к экзамену. Обучение и экзамен, таким образом, должны быть строго разграничены. Кроме того, следует использовать только такие экзаменационные вопросы, которые одобрены или составлены сертифицирующей инстанцией. При приеме экзаменов по I и II уровню требуется только один уполномоченный по приему экзаменов, при сдаче экзаменов по III уровню – по крайней мере два.

Одно из преимуществ стандартов EN 473, ISO 9712 и норм NORD-TEST заключается в том, что они нацелены на частичное сохранение некоторых норм SNT-TC-IA, относящихся к производству и организации рабочего места аттестуемого персонала, относя сертификацию к определенным промышленным секторам. В соответствии с этим сертификаты по EN 473, как правило, действительны только для секторов промышленности, в рамках которых производилось обучение и сдавался экзамен.

По EN 473 понятие «сектор промышленности» может относиться как к продукции (сварные соединения, литье), так и к отрасли промышленности (авиация, нефтехимия).

По COFREND (французское общество по НК) промышленные сектора – это авиация, сварные конструкции и литейное производство, черная металлургия и сталелитейная промышленность, стальные трубы и стальные фасонные детали, сложное оборудование.

Согласно PCN (система аттестации персонала по НК в Великобритании) промышленные сектора – это сварные конструкции, отливки, продукция, выполненная обработкой давлением, авиационная техника.

В немецком стандарте промышленность разделена на четыре сектора: сварные соединения (сосуды под давлением, ядерная техника, металлоконструкции), металлопроизводящая и металлообрабатывающая промышленность, аэрокосмическая техника, особая продукция.

В настоящее время понятие промышленного сектора сформулировано только Национальными Советами по стандартизации, поскольку CEN TC-138 (Европейский комитет по стандартизации) до сих пор не принял по этому поводу никакого решения. Однако в преддверии подобного решения национальные системы сертификации персонала по НК, отнесенные к конкретным секторам промышленности, работают очень рационально. Они хорошо сочетаются с инструкцией SNT-TC-1A и позволяют: уменьшить срок обучения; сократить объем экзаменов; привязать сертификацию к нуждам предприятия. Нормы NORDTEST по сравнению с EN 473 и ISO 9712 более конкретны. Так, сертификация персонала на III уровень квалификации проводится по двум секторам: промышленное оборудование и металлоконструкции и аэрокосмические конструкции, а аттестация персонала на I и II уровень – по секторам в зависимости от метода контроля.

- Метод радиационный (RT):
 - R-1 – сварные швы стальных изделий;
 - R-2 – сварные швы изделий из легких сплавов;
 - R-3 – литье;
 - R-4 – авиационные конструкции, содержащие паяные и клепаные изделия.
- Метод ультразвуковой (UT):
 - U-1 – сварные швы и листовой металл;
 - U-2 – поковки;
 - U-3 – литье;
 - U-4 – авиационные конструкции.
- Метод вихретоковый (ET):
 - E-1 – материалы, изделия и конструкции общего назначения;
 - E-2 – авиационные детали и конструкции.

Аттестация персонала по другим методам контроля – многоотраслевая, т. е. она не лимитируется конкретным сектором промышленности. По отечественным нормам ППР специалист любого уровня квалификации аттестуется по продукции (оборудованию или его элементам), подконтрольной Госгортехнадзору России.

7.3.2. Требования к компетентности аттестуемого персонала

В соответствии с ПГР специалисты I уровня квалификации ведут работу по контролю конкретной продукции без выдачи заключения о качестве объекта.

В отличие от этого по SNT-TC-IA обладатель I уровня квалификации должен уметь осуществлять в заданном объеме юстировку приборов и контроль, а также представлять оценку результатов контроля согласно имеющимся утвержденным критериям в виде отчета.

По EN 473 лицо, аттестованное на I уровень, получает квалификацию для проведения работ по НК в соответствии с письменными инструкциями и под наблюдением персонала II и III уровня. Его обязанности – регистрировать и классифицировать результаты контроля в соответствии с критериями, установленными в документах, и представлять отчет по результатам контроля.

По ПГР такой специалист должен выполнять контроль и оценку качества продукции и участвовать в аттестации специалистов I и II уровней.

По SNT-TC-IA и EN 473 лицо, аттестованное на II уровень, не может участвовать в аттестации специалистов I и II уровня, но должно быть компетентным в подготовке и руководстве персоналом I уровня и уметь составлять письменные инструкции, а также осуществлять организацию работ по НК.

Требования к специалистам III уровня по ПГР, SNT-TC-IA и EN 473 почти совпадают, но в отличие от ПГР две другие нормы требуют, чтобы персонал был компетентным в нескольких общеприменимых способах НК.

7.3.3. Требования норм к аттестационным инстанциям

Согласно SNT-TC-IA ответственность за аттестацию персонала всех уровней лежит на предпринимателе, даже если по его желанию внешняя организация привлекается к аттестации персонала по уровню III. К предпринимателю как к сертифицирующей инстанции предъявляются, как было уже отмечено, два требования:

- предприниматель должен иметь правила аттестации персонала НК, включающие все этапы аттестации, в том числе подготовку аттестуемых;
- предприниматель должен иметь или привлекать для аттестации специалиста III уровня.

По ПГР и EN 473 в аттестацию могут включаться три инстанции. По ПГР – это национальный аттестационный комитет по НК (НАК НК), региональные (отраслевые) аттестационные центры (АЦ) и аттестационные пункты (АП). При этом НАК НК выдает лицензии аттестационным центрам и пунктам на право аттестации специалистов I и II уровня по конкретным видам НК и оборудованию, аттестацию специалистов III уровня проводит только НАК НК.

ПГР не устанавливает четкой ответственности этих инстанций ни за аттестацию в целом, ни за выдачу аттестатов.

По EN 473 аттестационными инстанциями могут быть независимые аттестационные органы (НАО), уполномоченные органы (УО) и экзаменационные центры (ЭЦ).

УО – это орган, уполномоченный НАО проводить подготовку к экзаменам и осуществлять их, определяя уровень квалификации персонала в области НК.

ЭЦ – это центр, утвержденный НАО непосредственно или через УО, в котором проводятся квалификационные экзамены.

EN 473 возлагает ответственность на НАО за процедуру аттестации и выдачу всех аттестатов.

7.3.4. Требования к подготовке специалистов к экзаменам I и II уровня

Требования ПГР к общему образованию и специальной подготовке, выполнение которых обязательно для аттестации специалистов, приведены в табл. 18:

Таблица 18

Требования ПГР к подготовке кандидатов, аттестуемых на I и II уровни

Уровень квалификации по НК	Уровень образования	Требования к специальной подготовке
I	Общее	Специальная подготовка с выдачей документа об образовании (свидетельства, диплома)
	Среднее	Подготовка на спецкурсах или по месту работы в подразделениях НК в соответствии с программой, утвержденной руководством предприятия
II	Среднее, среднетехническое или высшее	Подготовка в техникумах или в профтехучилищах или на спецкурсах в соответствии с программами, согласуемыми с аттестационными центрами

В ПГР не оговаривается минимальное количество часов специальной подготовки.

По SNT-TC-IA персонал, аттестуемый на I и II уровень, делится на две группы:

- со средним образованием;
- неоконченным высшим и (или) средним техническим образованием.

В EN 473 уровень образования специалистов не оговаривается, необходимо лишь успешное окончание курса подготовки по определенному методу контроля.

Минимальные сроки подготовки по EN 473 и SNT-TC-IA для первой группы лиц представлены в табл. 19.

Требования всех трех нормативных документов к минимальной продолжительности производственного стажа в области НК приведены в табл. 20 и 21.

Таблица 19

*Минимальный срок обучения специалистов,
аттестуемых на I и II уровень*

Вид контроля	Уровень I		Уровень II	
	SNT-TC-1A	EN473	SNT-TC-IA	EN 473
ET	40	40	40	40
PT	4	16	8	24
MT	12	16	8	24
RT	39	40	40	80
UT	40	40	40	80
LT	40	40	24	80

Таблица 20

*Требования норм к минимальной продолжительности
практической работы специалистов в области НК (мес.)*

Вид контроля	Уровень I			Уровень II		
	SNT-TC-IA	EN473	ПГР	SNT-TC-IA	EN473	ПГР
ET	1	3	3	9	9	9
PT	1	1	3	2	3	6
MT	1	1	3	3	3	6
RT	3	3	6	9	9	12
UT	3	3	6	9	9	12
LT	1	3	3	2	9	9

**Требования ПГР к подготовке кандидатов,
аттестуемых на III уровень**

Уровень образования	Требования к специальной подготовке
Общее	Специальная подготовка с выдачей документа об образовании (свидетельства, диплом)
Высшее или среднетехническое	Подготовка или переподготовка в вузах и институтах повышения квалификации по неразрушающему контролю, а также самоподготовка в процессе работы в области НК не менее 4-х лет в качестве специалиста II уровня квалификации с участием в разработке нормативной документации по НК

7.3.5. Требования к квалификационному экзамену III уровня

Квалификационный экзамен III уровня. По нормам ПГР требования к составу экзаменов, минимальному количеству вопросов и оценке их результатов едины для всех трех уровней.

По нормам EN 473 каждый квалификационный экзамен должен состоять из следующих частей, выполняемых в письменной форме – базового экзамена, состоящего из двух частей (A и B) (табл. 22) и экзамена по основному методу, содержащего три части (C₁, C₂ и C₃) (табл. 23).

Таблица 22

*Минимальное количество вопросов на базовом экзамене
по III уровню квалификации (нормы EN 473)*

Часть экзамена	Содержание	Количество вопросов
A	Технология материалов, материаловедение и дефектность продукции.	25
	Методика аттестации и определения квалификации	10
B	Общие знания II уровня	60

Таблица 23

*Минимальное количество вопросов по основному методу НК
(нормы EN 473)*

Часть экзамена	Вид экзамена	Количество вопросов
C ₁	Общий	30
C ₂	Специальный	20
C ₃	Практический (разработка одного или нескольких проектов методик по НК)	–

Составной балл N_b базового экзамена должен рассчитываться по формуле:

$$N_b = 0,5N_A + 0,5N_B,$$

где: N_b – составной балл базового экзамена; N_A – балл по части A ; N_B – балл по части B .

Для успешной сдачи базового экзамена кандидат должен получить балл не менее 70 % в каждой части и составной балл N_b не менее 80 %.

Составной балл N экзамена по основному методу рассчитывается по формуле:

$$N = (N_{C_1} + N_{C_2} + N_{C_3})/3,$$

где: N – составной балл экзамена по основному методу; N_{C_1} – балл по части C_1 ; N_{C_2} – балл по части C_2 ; N_{C_3} – балл по части C_3 .

Для успешной сдачи этого экзамена кандидат должен получить балл не менее 70 % в каждой части и составной балл N не менее 80 %.

Чтобы быть аттестованным, кандидат должен успешно сдать как базовый, так и экзамен по основному методу.

По нормам SNT-TC-IA квалификационный экзамен на III уровень включает три части (табл. 19): базовый экзамен (необходим только один раз, когда экзамен сдается по более чем одному виду НК); экзамен по основному методу; специальный экзамен.

Общая оценка уровня экзамена определяется как и при оценке экзаменов I и II уровня.

Таблица 24

*Структура квалификационного экзамена на III уровень
(нормы SNT-TC-IA) по основному методу НК*

Разделы экзамена	Тематика	Минимальное число вопросов
1 а	Знание SNT-TC-IA	15
1 б	Знание материаловедения и технологии производства	20
1 с	Основы и принципы других видов НК по II уровню	20
2 а	Основы и принципы данного вида НК	30
2 б	Типичное использование этого вида НК	15
2 с	Интерпретация норм стандартов по данному виду НК	20

7.3.6. Аттестация и срок ее действия

В соответствии с нормами EN 473, основываясь на результатах квалификационных экзаменов, НАО непосредственно или через свои уполномоченные органы, имеющие право на аттестацию по I и II уровню квалификации, должен объявить о результатах аттестации и выдать сертификаты и (или) соответствующие удостоверения.

По SNT-TC-IA удостоверения для персонала и квалификационные протоколы должны храниться в деле предпринимателя.

По ПГР на основании результатов квалификационного экзамена НАК НК или его аттестационный центр выдают специалистам квалификационные удостоверения отдельно по каждому методу контроля и уровню квалификации.

Удостоверения по EN 473 и ПГР содержат одни и те же сведения, кроме того, в первом указывается производственный сектор, в котором аттестат действителен, а во втором – перечень контролируемой продукции. Срок действия сертификатов (аттестатов) представлен в табл. 25.

Таблица 25

Срок действия сертификатов

Нормы	Сертификационный уровень, лет	
	I или II	III
SNT-TC-IA	3	5
EN473	5	5
ПГР	3	5

По ПГР квалификационное удостоверение теряет силу в следующих случаях:

- истечения срока действия;
- перерыва в работе по НК более одного года;
- отрицательного заключения медицинской комиссии;
- изменения места работы специалиста I и II уровня квалификации.

Для последнего случая EN 473 в отличие от норм ПГР указывает, что аттестация должна признаваться недействительной, если специалист переходит из одного производственного сектора в другой, который не охватывается действием аттестата. Тогда он должен успешно сдать дополнительный экзамен по этому новому производственному сектору. Нормы SNT-TC-IA в отношении срока действия аттестата в основном совпадают с ПГР.

Условия обновления сертификатов по рассматриваемым здесь нормам обобщены в табл. 26.

Таблица 26

Условия обновления сертификатов

Нормы	Период действия сертификата, лет	
	3	5
SNT-TC-IA	<i>E</i> или <i>R</i>	<i>E</i> или <i>R</i>
EN 473	<i>E</i>	<i>R</i>
ПГР	<i>E</i>	<i>R</i>

где *E* – продление срока действия сертификата, т. е. обновление сертификата на основании подтверждения деятельности специалиста в данном виде НК; *R* – повторная переаттестация, т. е. обновление сертификата на основании нового экзамена.

По нормам EN 473 после окончания первого срока действия и каждые последующие десять лет аттестат может быть продлен независимым аттестационным органом непосредственно или через уполномоченный орган на новый пятилетний период при условии представления специалистом следующих документов:

- о прохождении последней ежегодной проверки зрения;
- продолжительности или удовлетворительной производственной деятельности без значительного (более 1 года) перерыва в работе по тому методу контроля, по которому он аттестован.

По EN 473 после истечения каждого второго срока действия (каждые десять лет) аттестат должен быть возобновлен независимым аттестационным органом непосредственно или через уполномоченный орган на новый пятилетний срок при наличии вышеупомянутых документов с соблюдением следующих требований:

- а) для I и II уровня – специалист должен успешно сдать практический экзамен по упрощенной процедуре. Если специалист получает балл менее 80 %, он должен обратиться с просьбой о новой аттестации;
- б) для III уровня – специалист должен в зависимости от выбора НАО либо успешно сдать письменный экзамен, который содержит 20 вопросов по применению метода контроля в производственном секторе и 5 вопросов на знание EN 473, либо соответствовать требованиям структурной системы курса обучения.

По ПГР продление срока действия аттестата не отличается от норм EN 473, но по истечении двух сроков действия проводится повторная полная аттестация.

По SNT-TC-IA по усмотрению предпринимателя персонал всех уровней должен периодически переаттестовываться при выполнении одного из следующих условий:

- подтверждение постоянной успешной деятельности;
- переэкзаменовка по тем частям экзаменов, по которым специалист по НК уровня III (предприниматель) считает необходимым.

Стандарт EN 473 содержит целый ряд усовершенствований для пользователей системы, т. е. для промышленности и лиц, которые должны пройти сертификацию. Вот их неполный перечень:

- для экзаменов на I и II уровень квалификации установлены так называемые факторы важности, благодаря которым практическая часть экзамена входит в общий результат с долей в 50 %, т. е. имеет такое же значение, как и письменные части экзамена. Это дает значительное преимущество дефектоскопистам – практикам;
- в случае переэкзаменовки повторная сдача проводится по тем частям, где не был достигнут положительный результат;
- для специалистов всех уровней действителен пятилетний срок действия сертификата, по истечении которого следует переаттестация;
- повторная полная аттестация проводится спустя 10 лет, для чего необходима новая сдача экзамена, который может быть значительно сокращен по объему. Так, для специалистов I и II уровня достаточно сдать практическую часть экзамена;
- сертификат в значительной степени защищен от подделки, так как он выдается в виде удостоверения с фотографией;
- сфера действия сертификата включает не только метод НК и уровень квалификации, но и сектор промышленности. При смене рабочего места в пределах одного сектора сертификат сохраняет свое действие. Если новое рабочее место находится в другом секторе промышленности вне сферы действия сертификата, необходима повторная сдача только специального и практического экзаменов, но не общего экзамена.

При введении стандарта EN 473 устанавливается переходный период в 5 лет, когда действуют следующие правила:

- 1) если до выхода стандарта персонал уже был сертифицирован независимой инстанцией, то эта сертификация действительна до истечения своего срока (максимально 5 лет); затем может последовать ее обновление;
- 2) если до выхода стандарта персонал был сертифицирован на производстве, то производственная система аттестации должна быть

подвергнута аудиту со стороны сертифицирующей инстанции. Если отчет по аудиту положителен, то может последовать переаттестация по истечении срока действия существующего сертификата на основе квалификационного экзамена.

Централизованная сертификация согласно EN 473 или ISO 9712 скорее всего завоюет более прочные позиции в мире по сравнению с децентрализованной, но не сможет полностью вытеснить сертификацию на производстве, необходимость которой обусловлена международными контактами и регламентируется такими сборниками документов, как код AS ME, API-AI или военные стандарты. Некоторые специфические отрасли промышленности с трудом поддаются классификации по существующим секторам промышленности, а другие отрасли, объединенные в супернациональные концерны, при аттестации персонала следуют специальным международным нормам (например, нормативный сборник ISO 11484 регламентирует производственную сертификацию для специалистов по НК трубных заводов).

7.5. Требования к экзаменационным образцам, используемым для проведения практических экзаменов при аттестации специалистов по НК в соответствии с требованиями ECP (European certification process)

1. Область применения

В настоящее время Европейской федерацией неразрушающего контроля EFNDT разработаны единые для членов EFNDT требования, в соответствии с которыми экзаменационные образцы (ЭО) для проведения практических экзаменов должны быть изготовлены, скомпонованы, проконтролированы и эталонированы (калиброваны). Эти требования также определяют количество и тип образцов, которые должны быть в аттестационных центрах (АЦНК), сопровождаемых EFNDT и определенных требованиями ECP к проведению практических экзаменов и отнесенных к типу продукции или производственному сектору. Ниже рассмотрены требования к ЭО литья, сварных соединений, проката и поковок, штампованных изделий, а также к радиографическим снимкам для расшифровки в качестве ЭО. Требования дифференцированы по методам НК и типам продукции. Приведены также требования к типам дефектов, их расположению в ЭО, конфигурации ЭО.

2. Общие положения

2.1. Определения

Аттестационный (экзаменационный) образец – это образец, который используется для практических экзаменов. Образцы должны представлять изделия, обычно контролируемые в конкретном производственном секторе, и могут содержать более чем одну область или объем которые должны быть проконтролированы кандидатом.

Область (зона) контроля – это область целого аттестационного образца или его части, которые будут (или должны быть) проконтролированы кандидатом в течение практического экзамена.

2.2. Количество аттестационных образцов

Минимальное количество аттестационных образцов, которые должны быть в аттестационном центре для каждого типа продукта (литье, сварные соединения, кованные изделия, трубы, штампованные изделия) и относительно каждого применяемого метода контроля определяется по формуле $N + 2$, где N – это максимальное количество кандидатов одновременно принимающих участие в сдаче практического экзамена.

Один аттестационный образец может содержать несколько областей (зон) контроля.

2.3. Расположение дефектов в аттестационных образцах

Каждый ЭО должен содержать дефект или дефекты, относящиеся к представленному продукту (изделию) перечисленному в этом документе. Расположение дефектов в комплекте аттестационных образцов, выданных любому кандидату для экзамена должно быть таким, чтобы у кандидата установилась способность выявлять и описывать эти дефекты.

3. Аттестационные образцы литья для всех методов неразрушающего контроля

3.1. Общие требования

Образцы должны содержать примеры литья из различных материалов, иметь чистую поверхность, свободную от рыхлых продуктов коррозии и/или защитных покрытий и обеспечивать достаточный доступ для визуального контроля или другого применяемого метода неразрушающего контроля.

Для капиллярного контроля качество подготовки поверхности (например – механическая обработка) должно обеспечивать применение соответствующих систем капиллярного контроля т. е. гладкую для

сольвентных смывок на базе растворителей и более шероховатую для водосмываемых.

Для магнитопорошкового контроля геометрия образцов должна обеспечивать возможность использования полного диапазона способов намагничивания (например пустотелые изделия, предназначенные для последующей обработки, изделия большого диаметра с использованием гибких кабелей для намагничивания).

3.2. Конфигурация (геометрия)

Диапазон образцов из литья находящихся в аттестационном центре должен содержать следующие геометрические характеристики:

- а) цилиндрические сечения;
- б) большие и малые диаметры;
- в) фланцы;
- г) переменные сечения;
- д) соединения типа T , L , Y и X – или их комбинации.

Образцы из литья должны быть соответствующей сложности контроля для определения способности кандидата без путаницы и двусмысленности выполнить толщинометрию и измерение затухания, обнаружение дефекта и измерение его размеров. Разрешается использование отливок, содержащих как дефекты ремонтной сварки, так и естественные дефекты. Максимальный размер образцов ограничивается только имеющимися у аттестационного центра возможностями по их изготовлению и хранению. Большие отливки могут быть разделены для использования в более, чем одном образце, а отливки с переменной толщиной могут иметь несколько областей (зон) контроля и кандидату могут быть предложены конкретные (индивидуальные) области (зоны) контроля.

3.3. Тип дефектов, содержащихся в образцах

Аттестационные образцы, используемые в радиографии, могут не содержать дефектов, так как кандидат будет экспонировать на пленку заданные области аттестационных образцов, обрабатывать полученные снимки, проводить оценку и пригодность снимков для расшифровки и составлять заключение (расшифровку) важных областей для дальнейшего исследования. Могут быть использованы также образцы с дефектами.

Образцы, которые используются для ультразвукового контроля, могут быть применены для радиографического контроля. Диапазон

дефектов, представленный в образцах из литья и предназначенный для ультразвукового контроля, должен содержать объемные дефекты, трещины, усадку и дефекты повреждения поверхности. Отливки, ремонтируемые сваркой, должны содержать дефекты, типичные для образцов сваренных из пластин. Дефекты могут быть любой величины и допустимости с учетом (при условии) обнаружения их средствами и методиками, имеющимися в аттестационном центре, но не должны быть легко обнаруживаемы невооруженным глазом.

4. Аттестационные образцы сварных соединений

4.1. Образцы сварных соединений, используемые для экзамена по поверхностным методам неразрушающего контроля (VT, MT, PT, ET)

4.1.1. Сварное соединение пластин

Образцы для этой аттестации должны быть сварены из материала толщиной минимум 5 мм для МТ и 2 мм для РТ. Поверхность образцов очищена от окалины и других загрязнений.

4.1.2. Сварное соединение труб

Образцы для этой аттестации, должны содержать диапазон стыковых сварных соединений труб, начиная с минимального наружного диаметра 50 мм, а для МТ толщина стенки трубы должна быть не менее 5 мм.

4.1.3. Конструкция «Т» тавровых сварных соединений

Толщина материала, из которого изготавливаются образцы, минимум 5 мм. Конструкция сварного соединения должна быть как с полным, так и с неполным проплавлением, одно или двусторонняя, а также иметь допуск на угол между компонентами $90 \pm 10^\circ$.

4.1.4. Сварные соединения патрубков (угловые)

Образцы для этой аттестации, должны содержать примеры сварных соединений одно- и двусторонней конструкции, с полным и неполным проплавлением. Сварные соединения патрубков изготавливаются из трубных секций с наружным диаметром в диапазоне между 100 и 400 мм. Диаметр трубы, в которую будет выполнено вварка, должен быть в два раза больше диаметра трубы, которая вваривается. Толщина основного металла не менее 8 мм.

4.2. Образцы сварных соединений, используемые для экзамена по радиографии (RT)

Аттестационный центр должен иметь диапазон конструкций образцов сварных соединений включая примеры, приведенные ниже.

4.2.1. Сварные соединения пластин

Толщина материала, из которого изготавливаются образцы, минимум 5 мм. В зависимости от толщины материала сварное соединение может быть одно или двусторонним.

4.2.2. Сварные соединения труб

Образцы должны содержать сварные соединения труб в диапазоне диаметров от 25 до 400 мм. Сварные соединения сварены из труб в диапазоне толщины стенки от 2 до 50 мм, хотя могут быть применимы и большие толщины.

При расшифровке экзаменационных радиографических снимков (только для II уровня) кандидат обязан уметь читать, отмечать и описывать дефекты сварных соединений и составлять заключение. Эти радиографические снимки считаются экзаменационными образцами и должны отвечать требованиям, содержащимся в этом документе.

4.3. Образцы сварных соединений, используемые для экзамена по ультразвуковому методу контроля (UT)

4.3.1. Подготовка поверхности

Все аттестационные образцы, применяемые для экзамена по ультразвуковому методу, должны обеспечивать достаточный доступ к сварным швам (включая сварные швы со снятым усилением) при сканировании с использованием обычных преобразователей. Поверхность очищается от окалины и брызг металла.

Аттестационный центр должен иметь диапазон конструкций сварных соединений, включая примеры приведенные далее.

4.3.2. Сварные соединения пластин

Образцы для проведения этого экзамена должны состоять из сварных соединений пластин с диапазоном толщины между 6 и 50 мм, хотя большие толщины допускаются. В зависимости от толщины сварные швы могут быть по конструкции одно и/или двусторонние.

4.3.3. Сварные соединения труб

Образцы для проведения этого экзамена должны состоять из сварных соединений труб в диапазоне наружных диаметров между 50 и

600 мм. Толщина стенки труб пролетает в диапазоне толщины между 6 и 50 мм, хотя большие диаметры допускаются.

4.3.4. Тавровые сварные соединения

Минимальная толщина основного материала должна быть 8 мм. Конструкция сварных соединений должна быть с полным или с неполным проплавлением, одно или двусторонним. Угол между двумя частями $90 \pm 10^\circ$.

4.3.5. Сварные соединения патрубков (угловые)

Образцы для проведения этого экзамена должны содержать примеры конструкций сварных соединений, сваренных с одной и/или двух сторон, полностью или не полностью проплавленных. Сварные соединения патрубков изготавливаются из труб в диапазоне наружных диаметров между 100 и 400 мм, при этом наружный диаметр трубы, в которую производится вварка, должен быть в два раза больше чем диаметр трубы, которая вваривается. Минимальная толщина основного материала 8 мм.

4.4. Длина сварных швов

Длина сварных швов или области (зоны) контроля для каждой категории (типа) аттестационных образцов сварных соединений должна быть следующая:

- а) сварные соединения пластин 300 ± 50 мм;
- б) сварные соединения труб:
 - для труб с наружным диаметром 50...105 мм полная длина кольцевого шва;
 - для труб с наружным диаметром 105 мм полная длина кольцевого шва или минимум 300 мм;
- в) тавровые сварные соединения:
 - длина такая же, как и для сварных соединений пластин;
- г) сварные соединения патрубков:
 - длина полного сварного шва или минимум 200 мм.

4.5. Дефекты в ЭО сварных соединений

4.5.1. Общие требования

Диапазон дефектов, представленных в образцах, имеющих в аттестационном центре, не лимитируется, но должен включать как минимум следующие типы дефектов:

- 1) непровар кромки;

- 2) трещины;
- 3) неполное проплавление;
- 4) несплавление в корне шва;
- 5) шлак;
- 6) поры.

В образцах для ультразвукового контроля (пластины и/или трубы) должны содержаться как продольные, так и поперечные дефекты. В образцах, которые используются для проведения экзаменов по поверхностным методам, представляются дефекты поверхностных разрушений.

4.5.2. Размеры дефекта

Минимальный продольный размер одиночного дефекта или группы дефектов, представленных в аттестационном образце, должен быть равен или быть выше уровня регистрации. Этот уровень устанавливается аттестационным центром при составлении паспорта экзаменационного образца в соответствии с используемым методом контроля и с достигаемым уровнем чувствительности. Для ультразвукового контроля минимальный продольный размер обязательно регистрируемого дефекта в экзаменационном образце должен быть 5 мм, а минимальный размер обязательно регистрируемого дефекта по высоте – 2 мм.

Поперечные дефекты не должны распространяться в основной материал более чем на 20 мм.

Аттестационные образцы, которые используются для экзаменов по радиографии, могут не содержать дефектов, поскольку кандидат выполняет экспонирование снимков специфических областей образцов тавровых соединений и/или сварных соединений труб и их обработку, а также выполняет оценку пригодности снимков для расшифровки и отмечает важные области для дальнейшего исследования.

Образцы, имеющие дефекты, также могут применяться. Комплекты аттестационных образцов, которые используются для практического экзамена по ультразвуковому контролю, могут также быть использованы для радиографии.

5. Аттестационные образцы проката и поковок

5.1. Общие требования

УТ. Аттестационные образцы, изготовленные из проката и предназначенные для экзамена по ультразвуковому контролю, должны

обеспечивать достаточный доступ для сканирования обычными преобразователями. Для оценки дефекта с применением ультразвукового метода общепринятый размер ковального изделия равен минимум 200 мм.

РТ. Для метода капиллярной дефектоскопии уровень подготовки поверхности должен обеспечивать применение полного диапазона методик контроля, например гладкую поверхность для смывки пенетранта сольвентами, грубую – для смывки водой.

МТ. Для магнитопорошкового контроля диапазон геометрических конструкций должен обеспечивать применение полного диапазона методик контроля (например полый стержень с нарезанной резьбой, изделия большого диаметра, намагничивающиеся с использованием гибкого кабеля).

5.2. Размеры зон контроля

Зона контроля образцов пластин должна иметь длину 300 ± 50 мм и толщину в диапазоне от 5 мм и до более 240 мм для проведения измерения толщины.

Образцы прутка и бруса имеют длину 300 ± 50 мм и толщину от 5 мм до 50 мм.

5.3. Типы дефектов

Образцы должны содержать плоскостные и объемные дефекты, имеющие расположение и размеры, соответствующие применяемому методу неразрушающего контроля.

Диапазон дефектов, представленных в аттестационных образцах, которыми располагает аттестационный центр, включает, но не лимитирован ниже приведенными дефектами:

- 1) усадочная раковина или рыхлость центральной зоны;
- 2) трещины/разрывы в охлажденной отливке;
- 3) включения;
- 4) расслоения;
- 5) разрывы.

Каждый образец должен содержать один или более дефектов, приведенных выше. Дефекты подтверждаются применяемым методом контроля при паспортизации образца.

Минимальный размер дефекта должен быть равен или больше порогового значения, определенного соответствующей НД.

6. Аттестационные образцы, предназначенные для расшифровки (радиограммы)

6.1. Общие требования

Оригиналы или копии радиограмм, представляющие достаточный диапазон случайных изображений (ложных изображений) аномалий материала и структуры, должны обеспечивать реалистичный и не допускающий двойного толкования контроль (проверку) способности расшифровщика радиографических снимков читать, расшифровывать и безошибочно записывать результаты радиографического контроля.

6.2. Классификация

Аттестационные центры должны иметь, в соответствии с их официально разрешенными производственными секторами, образцы радиограмм каждой из следующих классификаций (групп):

6.2.1. Производственный сектор

- а) сварные соединения;
- б) литье, отливки;
- в) прокат, поковки.

6.2.2. Тип материала

- а) сталь;
- б) чугун;
- в) никелевые сплавы;
- г) легкие сплавы;
- д) медные сплавы.

6.2.3. Тип радиационного излучения

- а) рентгеновские лучи;
- б) гамма-излучение для получения радиограмм участков конструкций из тяжелых металлов.

Гамма-радиография не должна использоваться для получения радиограмм алюминиевых и магниевых сплавов.

6.2.4. Технология производства изделий

- а) литье в песок;
- б) литье по выплавляемым моделям;
- в) литье под давлением;
- г) центробежное литье;
- д) сварные соединения, выполненные с применением полуавтоматической сварки в инертных и активных газах;

- е) сварные соединения выполненные ручной аргонодуговой сваркой, а также другие технологии производства изделий.

6.3. Параметры радиограмм

Для проведения расшифровки радиограммы должны быть в хорошем состоянии и в большинстве случаев содержать не более, чем три типичных детали, обусловленных стандартами, относящимися к применяемому методу или стандартами на изготовление изделий.

Допускается наличие в радиограммах характерных ложных изображений, например вуали, электростатических разрядов.

Механические дефекты (износ и царапины, деформация и следы пальцев), находящиеся в зоне расшифровки, не должны классифицироваться как ложные изображения.

Использование копий радиограмм или воспроизведение их цифровым способом не исключено, если качество копий в отношении плотности и чувствительности соответствуют требованиям оригинала методики по радиографии.

Радиограммы могут быть любого размера, если определение характерных мест обеспечивается негатоскопом, но обычно не менее, чем 90×120 мм.

6.4. Качество радиограмм

Радиограммы выполняются в соответствии с принятыми стандартами относительно экспозиции, требуемой плотности и обработки.

Эталоны чувствительности международного образца должны быть видимыми на аттестационном образце – радиограмме, если их отсутствие или пропуск не являются характерной особенностью контроля, при проведении которого знаки маркировки отсутствуют.

Использование радиограмм, демонстрирующих единственные в своем роде или уникальные детали, без установки эталона чувствительности не исключено. В случаях, когда эталоны чувствительности не установлены, эта информация должна быть указана в протоколе или паспорте на образец.

6.5. Типы дефектов

Диапазон дефектов, содержащихся в радиограммах, должен представлять дефекты, наиболее характерные для производственного сектора, в котором аттестуется кандидат.

7. Паспорт ЭО для RT

Все дефекты, находящиеся в аттестационном образце-радиограмме, должны быть записаны в протокол (паспорт), который содержит нижеприведенные данные:

1. Тип дефектов.
2. Координаты дефектов в зависимости от параметров (характеристик) и допустимые отклонения (разрешенные правилами, стандартами допуски).
3. Размеры дефектов с указанием допусков на каждый параметр.
4. Настройки, применяемые при выполнении радиограмм.
5. Подробности параметров:
 - а) классификация производства;
 - б) классификация материала;
 - в) тип радиационного излучения;
 - г) данные эталона чувствительности (если используется);
 - д) тип пленки и плотность;
 - е) параметры отмеченных мест дефектов или характерных деталей;
 - ж) схема разметки;
 - з) любые другие относящиеся к контролю детали.

Не исключено использование эскизов, усиливающих информацию. Эскизы выполняются в масштабе, но любые специфицированные измерения или размеры должны быть в реальном масштабе. Отсутствие установки эталона чувствительности при просвечивании специальных деталей отмечается в паспорте на образец.

Вопросы на знание EN 473:2000

1. Базовыми уровнями компетентности специалистов НК являются:
 - а) кандидат на аттестацию, уровень I, уровень II, уровень III;
 - б) ученик, кандидат на аттестацию, уровень I, уровень II, уровень III;
 - в) уровень I, уровень II, уровень III;
 - г) ни одна из вышеперечисленных категорий.

2. Лицо, аттестованное по I уровню должно уметь:
 - а) выбирать оборудование для контроля;
 - б) калибровать оборудование;
 - в) осуществлять контроль;
 - г) «а» и «б».

3. Лицо, аттестованное по I уровню не должно уметь:
 - а) настраивать оборудование для контроля;
 - б) осуществлять контроль;
 - в) представлять отчет по результатам контроля;
 - г) нести ответственность за выбор технического оборудования.

4. Что из перечисленного ниже не входит в сферу деятельности специалиста II уровня:
 - а) выбор технического оборудования;
 - б) составление отчета по результатам контроля;
 - в) толкование стандартов;
 - г) подготовка письменных инструкций по контролю.

5. Лицо, аттестованное по II уровню получает квалификацию для проведения работ по НК:
 - а) в соответствии с письменными инструкциями;
 - б) в соответствии с установленными и утвержденными методиками;
 - в) «а» и «б»;
 - г) ни «а» ни «б».

6. Обязанности специалиста III уровня требуют знаний:
 - а) только в пределах метода, по которому он аттестован;
 - б) только в пределах сектора промышленности и метода, по которому он аттестован;
 - в) «а» и «б»;
 - г) ни «а» ни «б».

7. Кто несет ответственность за процедуру аттестации:
- а) работодатель;
 - б) специалист III уровня;
 - в) независимый аттестационный орган;
 - г) уполномоченный орган.
8. Независимый аттестационный орган должен всегда утверждать аттестаты:
- а) I уровня;
 - б) II уровня;
 - в) III уровня;
 - г) «а», «б» и «в».
9. Работодатель не должен:
- а) представлять кандидата в независимый аттестационный или уполномоченный орган;
 - б) вовлекаться в процедуру аттестации;
 - в) непосредственно вовлекаться в процедуру аттестации;
 - г) подтверждать документально данные об образовании кандидата.
10. Какие факторы следует учитывать при допуске к экзаменам по II уровню:
- а) практический опыт, подготовку;
 - б) практический опыт, подготовку и предшествующую аттестацию;
 - в) образование, практический опыт, подготовку;
 - г) ни одно из вышеуказанных.
11. Если специалист аттестуется непосредственно на II уровень, не проходя аттестацию по I уровню, то его стаж должен составлять:
- а) сумму времени, требуемую для I и II уровня;
 - б) только время, требуемое для специалиста II уровня;
 - в) не менее 6 месяцев;
 - г) не менее 9 месяцев.
12. Если специалист аттестуется на II уровень по двум методам, то его подготовка должна быть в объеме:
- а) суммарного количества часов по каждому методу;
 - б) уменьшенного суммарного времени на 25 %;
 - в) уменьшенного суммарного времени на 33 %;
 - г) ни «а», ни «б» ни «в».
13. Если специалист аттестуется по II уровню в двух секторах промышленности по какому-либо методу НК, то его требуемый стаж должен быть в объеме:

- а) одного сектора промышленности;
 - б) суммарного стажа;
 - в) с уменьшением суммарного стажа на 25 %;
 - г) с уменьшением суммарного стажа на 33 %.
14. Проверка остроты зрения должна проводиться:
- а) только перед экзаменами;
 - б) ежегодно;
 - в) по требованию работодателя;
 - г) «а» и «б».
15. Какой из перечисленных разделов экзамена на I, II, III уровень должен проводиться в письменной форме:
- а) общий и специальный;
 - б) общий и практический;
 - в) специальный и практический;
 - г) только общий.
16. Общий экзамен должен включать только вопросы:
- а) одобренные работодателем и экзаменационным центром;
 - б) одобренные независимым аттестационным органом;
 - в) «а» и «б»;
 - г) ни «а», ни «б».
17. Если специальный экзамен по II уровню сдается в двух секторах промышленности, то количество вопросов:
- а) не измениться;
 - б) увеличится на 5 %;
 - в) увеличится до 30 %;
 - г) «б» и «в».
18. Письменные и практические экзамены на I или II уровень контролируются и оцениваются по меньшей мере:
- а) одним экзаменатором;
 - б) двумя экзаменаторами.
19. Базовый экзамен на III уровень должен проводиться, как минимум ..., и оцениваться, по меньшей мере ...:
- а) одним, ... двумя экзаменаторами;
 - б) двумя, ... одним экзаменатором;
 - в) одним, ... тремя экзаменаторами;
 - г) одним, ... одним экзаменатором.

20. У аттестованного специалиста II уровня, переходящего из одного производственного сектора в другой:
- а) сохраняется действительным специальный экзамен;
 - б) сохраняется практический экзамен;
 - в) сохраняется общий экзамен;
 - г) «а» и «б».
21. Для того, чтобы пройти аттестацию по I и II уровню, комплексная оценка должна быть не ниже:
- а) 60 %;
 - б) 90 %;
 - в) 80 %;
 - г) 70 %.
22. Кандидат, который не сдал экзамен с баллом по одной части менее 70 % и общим баллом более 80 %, может иметь переэкзаменовку:
- а) по всем частям;
 - б) по двум частям;
 - в) только по несданной части;
 - г) «а» и «б».
23. Выдавая аттестат, независимый аттестационный орган:
- а) удостоверяет квалификацию и дает разрешение на осуществление деятельности;
 - б) дает разрешение на осуществление деятельности;
 - в) «а» и «б»;
 - г) ни «а», ни «б».
24. Срок действия аттестата с даты, указанной в аттестате, составляет:
- а) 3 года;
 - б) 5 лет;
 - в) 4 года;
 - г) до момента, когда аттестация признается недействительной.
25. Какие из утверждений в отношении продления срока действия аттестата правильны:
- а) продление может производиться только методом переэкзаменовки всех частей экзамена;
 - б) продление может производиться только методом переэкзаменовки двух частей экзамена;
 - в) продление может производиться только методом переэкзаменовки одной части экзамена;
 - г) при ежегодной проверке зрения и документа о продолжении им удовлетворительной производственной деятельности без значительного перерыва в работе.

26. При аттестации через 10 лет специалист II уровня должен успешно сдать:
- а) общий экзамен;
 - б) специальный экзамен;
 - в) практический экзамен;
 - г) «а», «б» и «в».
27. В переходный период специалист II уровня, аттестационным органом, независимым от работодателя:
- а) сохраняет свои права на некоторый срок;
 - б) должен быть переаттестован;
 - в) должен продлить свой аттестат;
 - г) «б» и «в».
28. В переходный период специалист II уровня, аттестационный работодателем, должен успешно сдать:
- а) общий экзамен;
 - б) специальный экзамен;
 - в) практический экзамен;
 - г) «а», «б» и «в».
29. Что из ниже приведенного присуще как общему, так и базовому экзамену:
- а) они связаны с принципами какого-либо метода;
 - б) проводятся в рамках какого-либо сектора промышленности;
 - в) требуют знания оборудования;
 - г) требуют знания стандартов.
30. Что из ниже перечисленного присуще как специальному, так и практическому экзамену:
- а) должны проводиться в письменной форме;
 - б) проводятся в рамках каких-либо секторов промышленности;
 - в) при расчете составного балла имеют один и тот же вес;
 - г) сдаются при повторной аттестации.
31. Значительный перерыв в работе специалиста означает отсутствие или изменение области деятельности, в целом превышающих:
- а) месяц;
 - б) квартал;
 - в) полгода;
 - г) год.
32. Специалист III уровня перешел из одного производственного сектора в другой. Для аттестации по II уровню в новом секторе ему нужно сдать:

- а) общий экзамен и экзамен по основному методу;
 - б) экзамен по основному методу;
 - в) специальный и практический экзамен по основному методу;
 - г) только специальный по основному методу.
33. При оценке уровня квалификационного экзамена на II уровень кандидат получил 71 и 73 % соответственно по общему и специальному экзамену. Чтобы пройти аттестацию, балл по практическому экзамену у него должен быть не менее :
- а) 80 %;
 - б) 82 %;
 - в) 88 %;
 - г) 90 %.
34. Методика оценки результатов практических экзаменов должна быть разработана или утверждена:
- а) экзаменатором;
 - б) экзаменационным центром;
 - в) уполномоченным органом;
 - г) национальным аттестационным органом.

Методические рекомендации для подготовки специалистов неразрушающего контроля III уровня в области материаловедения, технологии материалов и дефектов

Дефекты стали. К поверхностным дефектам относятся границы между зернами и субзернами, дефекты упаковки, границы двойников и доменов, поверхность кристалла.

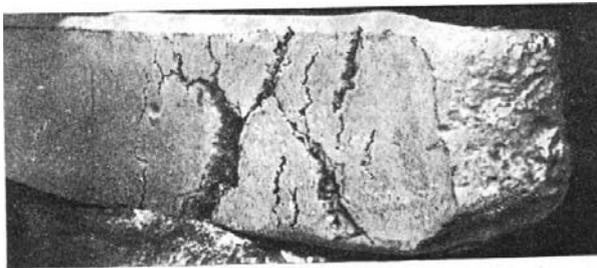


Рис. 100. Рванина

Рванины представляют собой раскрытые разрывы, расположенные перпендикулярно или под углом к направлению наибольшей вытяжки металла, образуются при горячей деформации металла из-за пониженной пластичности. Дефект образуется при горячей деформации

малопластичного металла. При резко пониженной пластичности металла возможно образование грубых рванин после первого обжатия (в валках) или при первых ударах молота при ковке (рис. 100). Рванины на прокате обычно расположены полосами вдоль направления деформации, часто периодически повторяясь.

Закат представляет собой прикатанный прямолинейный продольный выступ с одной стороны проката или с двух диаметрально противоположных его сторон. Дефект, как правило, проходит по всей длине прутка. В случае приката большого уса дефект может иметь вид двух параллельных линий

На поперечных макрошлифах и микрошлифах видна характерная особенность заката – расположение под острым углом к поверхности металла. На микрошлифах характерный признак заката – это то, что конец дефекта не разветвлен и огибается волокном. Дефект заполнен окалиной, и металл по его стенкам обезуглерожен. При вдавливании грубого уса закат может располагаться под прямым углом к поверхности и иметь серповидный конец (рис. 101, а, б).

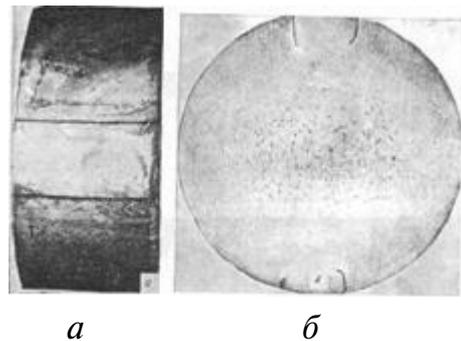


Рис. 100. Закат

Флокены представляют собой тонкие разрывы металла округлой или овальной формы, образующиеся вследствие структурных напряжений в стали, насыщенной водородом, располагаются в средней зоне слитков, поковок или прутков (рис. 102). Обычно образуются в деформированном металле. Флокены образуются преимущественно в процессе охлаждения стали, после горячей деформации (наиболее часто) или после термической обработки (реже), а также при последующем хранении металла. Возникают флокены в процессе охлаждения при температуре 250 °С и ниже. В локальных участках появляются микротрещины, которые постепенно увеличиваются в размерах. Причина образования флокенов – наличие в металле водорода и высоких напряжений в локальных участках при значительной хрупкости металла в этих участках. Плоскости флокенов обычно ориентированы параллельно направлению деформации или под небольшим углом к нему. В полых изделиях флокены могут располагаться в средней зоне стенки в том случае, если они образовались при охлаждении после горячей деформации или при термической обработке изделий. В продольных изломах флокены имеют вид круглых или овальных пятен, отличающихся от остального излома кристаллическим строением. Поверхность флокена обычно блестящая более крупнокристаллическая, резко выделяющаяся на фоне матового, мелкозернистого излома. Флокены небольшого размера типичны для сталей перлитного класса, а больших – для конструкционных сталей мартенситного класса, особенно при длительном хранении их после горячей обработки давлением без умягчающей термической обработки.



Рис. 102. Флокен в трубе размером 426×90

Чешуйчатость представляет собой отслоения и разрывы в виде сетки, образовавшиеся при прокатке из-за перегрева (пережога) или пониженной пластичности металла периферийной зоны (рис. 103).

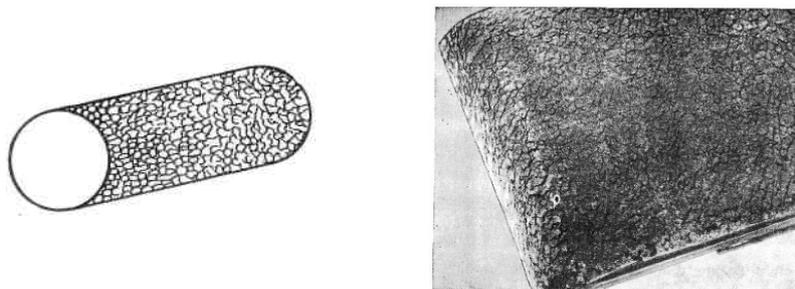


Рис. 103. Внешний вид заготовки с чешуйчатостью

Ус представляет собой продольный выступ с одной стороны прутка или с двух диаметрально противоположных его сторон (рис. 104). Дефект имеет значительную протяженность и обычно распространяется на всю длину прутка. Причины образования дефекта:

- а) переполнение калибра из-за излишка металла (слишком большое сечение заготовки);
- б) неправильная калибровка и выработка предчистового калибра;
- в) неправильная настройка калибров и арматуры валков;
- г) пониженная температура металла.

Меры по предупреждению дефекта:

- а) применение калибровки, гарантирующей от переполнения калибров;
- б) правильная настройка валков и валковой арматуры;
- в) подача металла в калибр по центру;
- г) использование калибров, не имеющих значительного износа;
- д) соблюдение температурного режима нагрева металла;
- е) установка проводок по центру (без смещения).

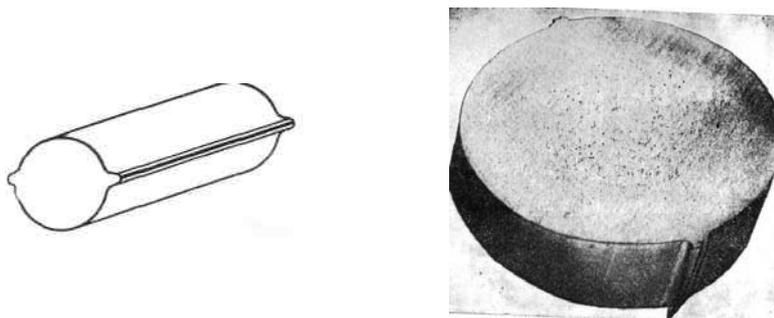


Рис. 104. Внешний вид прутка диаметром 8 мм с усом

Черным называют излом темно-серого цвета, связанный с присутствием выделений графита в структуре высокоуглеродистых и легированных кремнием сталей (рис. 105). Излом может быть темно-серым полностью или в отдельных участках. Форма и расположение этих участков зависят от условий получения излома (формы надреза и условий поломки) и от распределения графита. Дефект отчетливо обнаруживается в поперечных изломах.



Рис. 105. Черный излом на стали после отжига

Горячая кристаллизационная трещина – извилистый окисленный разрыв металла, более широкий у поверхности и сужающийся вглубь, образовавшийся в период кристаллизации металла вследствие растягивающих напряжений, превышающих прочность наружных слоев слитка. Горячие трещины могут быть поперечными (трещины зависания) и продольными. Поперечные трещины чаще всего располагаются в подголовной (рис. 106) или донной части слитка.



Рис. 106. Поперечные трещины на литом электроде сплава XH56BMTY

Закат представляет собой прикатанный прямолинейный продольный выступ с одной стороны проката или с двух диаметрально противоположных его сторон (рис. 107). Закаты выявляются при внешнем осмотре проката или при осадке образцов в горячем или холодном состоянии. Под слоем прокатной окалины тонкие закаты трудно различимы, поэтому для их лучшего обнаружения применяют абразивное светление прутков кольцами или змейкой с шагом 20...30 см. Дефект, как правило, проходит по всей длине прутка. В случае приката большого уса дефект может иметь вид двух параллельных линий.

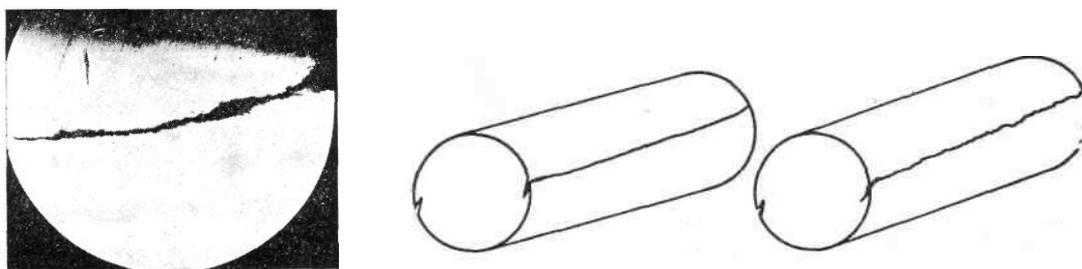


Рис. 107. Закат на прутке диаметром 24 мм из стали 2X12HMBF

Царапина – дефект, представляющий собой канавку неправильной формы и произвольного направления, образовавшуюся в результате механических повреждений, в том числе при складировании и транспортировке металла (рис. 108). Форма и протяженность дефекта могут

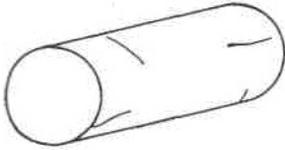


Рис. 108. Царапина

быть весьма разнообразны. Дефект иногда может объединять несколько царапин. В поперечных микрошлифах дефект имеет тупое дно, не содержит оксидов, не обезуглерожен и не имеет других изменений микроструктуры.

Заусенец — дефект поверхности, представляющий собой острый в виде гребня выступ на конце прутка, образовавшийся при резке металла (рис. 109). Заусенец может образоваться при резке в горячем и холодном состоянии, а также при рубке горячего металла. Для предупреждения и уменьшения заусенцев необходимо поддерживать режущий инструмент в хорошем состоянии. В отдельных случаях заусенцы зачищают абразивами.

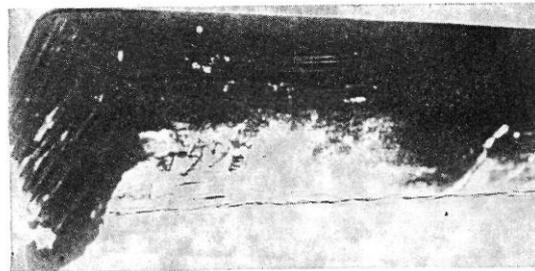
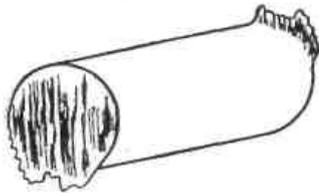


Рис. 109. Внешний вид прутка с заусенцем

Подкорковые пузыри — дефект макроструктуры поверхностной зоны слитка в виде единичных или групповых пор и небольших пустот округлой или вытянутой формы, заполненных газом, иногда выходящих на поверхность.

Пузыри располагаются по периметру непрерывных слитков в захлаженных участках. Наибольшее количество пузырей наблюдается в районе узких граней и углов, а также на стыке кристаллитов, растущих от узких и широких граней (рис. 110). Для предупреждения образования подкорковых пузырей необходимо соблюдение режима раскисления стали; поддержание температурного режима выплавки и разливки, а также постоянного уровня металла в кристаллизаторе; обеспечение стабильной скорости разливки; влажность шлакообразующей смеси для защиты зеркала металла в кристаллизаторе не должна превышать 0,3 %.

Перетрав — дефект поверхности, представляющий собой местное или общее разъедание поверхности металла при травлении (рис. 111).

Важный способ предупреждения перетравливания — разрыхление окалины перед травлением.



Рис. 110. Подкорковые пузыри в слитке сечением 150×200 мм

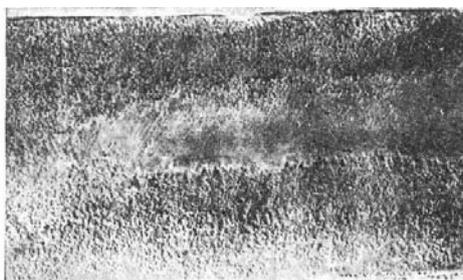


Рис. 111. Внешний вид прутка с перетравленной поверхностью

Скворечник представляет собой раскрывшуюся при деформации внутреннюю поперечную термическую трещину в слитках или заготовках. В деформированном металле наблюдается заметное вспучивание граней прутков из-за раскрытия трещины, которая может выходить на поверхность (рис. 112). На макрошлифе наблюдается полость с разрывами, выходящими на поверхность. Иногда разрывы расположены по двум взаимно перпендикулярным направлениям. Для обнаружения скворечников, не выходящих на поверхность, применяют ультразвуковой контроль.

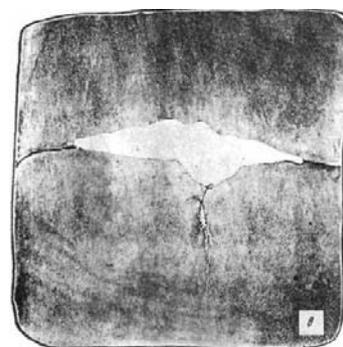


Рис. 112. Скворечник

Наибольшей склонностью к образованию **шлифовочных трещин** обладают стали мартенситного и ферритного (высокохромированные) классов, железо-никелевые, а также дисперсионнотвердеющие сплавы.

Мелкие загрязнения при деформации вытягиваются в нитевидные дефекты, называемые волосовинами. **Волосовины** выявляются на шлифованной или протравленной поверхности прутков и могут быть единичными или групповыми. На продольных микрошлифах волосовины выглядят как строчки неметаллических включений.

Ликвация представляет собой неоднородность стали и сплавов по составу, образующуюся при их затвердевании. Ликвацией также называется процесс создания такой неоднородности (рис. 113).

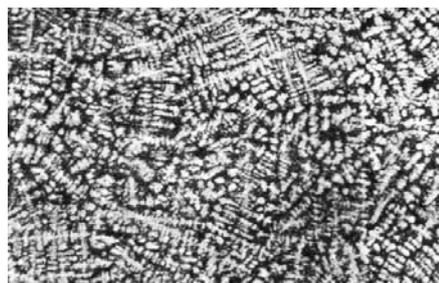


Рис. 113. Ликвация стали

Пузыри в металле представляют собой полости (округлые, овальные или продолговатые) образовавшиеся в результате выделения газов при кристаллизации. Располагаются по периметру непрерывных слитков в захлажденных участках. Наибольшее количество наблюдается в районе узких граней и углов, а также на стыке кристаллитов, растущих от узких и широких граней.

Корочки представляют собой участки металла, загрязненные неметаллическими включениями.

Расщепления-вырывы имеют вид узких щелей, выступов и углублений в поперечном изломе прутков, термически обработанных на высокую вязкость и связанные с полосчатостью структуры, возникающие вследствие дендритной ликвации.

В **усадочной раковине** слитка обнаруживаются дендритные кристаллы или их сростки, скапливаются неметаллические включения, а также оксиды. Различают следующие виды усадочной раковины в слитках: открытая, закрытая и вторичная. Внутренняя поверхность усадочной раковины неровная, с мелкими выступами и впадинами.

Дефект образуется при горячей деформации малопластичного металла. При резко пониженной пластичности металла после первого обжатия в валках или при первых ударах молота при ковке возможно образование грубых рванин.

Продольные трещины иногда могут быть прерывистыми, в граненых слитках — угловыми; располагаются по всей высоте изделия.

Подусадочная ликвация проявляется тем резче, чем больше масса слитков. После деформации дефект полностью или частично удаляется вместе с прибыльной частью слитков. Неудаленная подусадочная ликвация проявляется на поперечных макрошлифах, отобранных отподготовленных заготовок. Степень развития подусадочной ликвации оценивается по шкалам ГОСТ 10243–75.

Загрязнение — дефект представляет собой загрязнения поверхности слитков, прутков и других изделий неметаллическими включениями (шлаком, огнеупорами, утепляющими смесями, оксидами и др.).

Блюм или **скляб** (подрез на квадратной или прямоугольной заготовке) возникает вследствие задачи полосы на бурты валка или смещения ручьев калибра.

Газовая ликвация характерный дефект слитка кипящей стали, представляющий собой участки структурной и химической неоднородности в виде стреловидной ликвации.

Появление **шлаковых включений** вызывает недостаточная очистка валков при получении многопроходного шва.

Расщепления-вырывы имеют вид узких щелей, выступов и углублений в поперечном изломе прутков, термически обработанных на высокую вязкость и связанные с полосчатостью структуры, возникающие вследствие дендритной ликвации.

Раскатка — увеличение диаметра кольцевой заготовки при вращении за счет уменьшения ее толщины.

Элементы технологии термической обработки металлов и сплавов

Термическая обработка — изменение структуры и свойств материала в результате нагрева и охлаждения в твёрдом состоянии. Основными видами термической обработки являются отжиг, закалка, отпуск, старение.

Отжиг — термическая операция, состоящая в нагреве металла, имеющего неустойчивое состояние, и приводящая металл в более устойчивое состояние. Отжиг производят для улучшения обрабатываемости, повышения пластичности, уменьшения остаточных напряжений.

Закалка — термическая операция, состоящая в нагреве выше температуры превращения с последующим быстрым охлаждением для получения неустойчивого состояния сплава.

Коэффициент температуростойкости $\alpha = \lambda / Cd$ характеризует скорость распространения тепла в веществе, где λ — коэффициент теплопроводности; C — удельная теплоемкость; d — плотность.

Отпуск — термическая операция, состоящая в нагреве закалённого сплава ниже температуры превращения для получения более устойчивого состояния сплава. Отпуск позволяет уменьшить хрупкость и повысить пластичность металла. Является конечной стадией термической обработки, проводится после закалки.

Старение — изменение растворимости углерода в α -Fe в зависимости от температуры.

Химико-термическая обработка. К насыщению металлами относятся следующие операции химико-термической обработки: алитирование, цинкование, силицирование, хромирование, титанирование, хромоалюмирование, хромосилицирование.

Цементацию проводят в области температур 900...950 °С, где устойчивой фазой является аустенит, позволяющий растворить большее количество углерода.

Чугун – доэвтектический сплав железо-углерод, с содержанием С 2,14...3,7 % Свойства чугуна зависят от структуры и от формы С, находящейся в структуре. Чугуны: Fe₃C – белые чугуны (на изломе светлые), С – чугуны с графитом. Графитизация Fe₃C → Fe + C_{графит}. В зависимости от формы графита: серые – пластинчатый графит СЧ25 (предел прочности 25 кгс/мм²), СЧ30, СЧ35, СЧ35, СЧ40, СЧ45; ковкие – хлопьевидный графит, ферритные: КЧ30 6, КЧ35-10 (предел прочности 35 кгс/мм², относительное удлинение 10 %, твёрдость 149 НВ, на ферритовой основе), КЧ37-12, феррито-перлитные: КЧ45-6, КЧ50-4, КЧ60-3, КЧ63-2; высокопрочные – шаровидный графит ВЧ45-5, ВЧ50-2, ВЧ60-2 (предел прочности 60 кгс/мм² предел текучести 40 кгс/мм², относительное удлинение 2 %, твёрдость 200...280 НВ, ВЧ70-2.

Элементы технологии обработки металлов под давлением

Ковка – способ обработки металла давлением, когда в результате многократного порывистого ударного воздействия инструмента на заготовку она приобретает заданную форму и размеры. К основным операциям ковки относятся: осадка, протяжка, прошивка, отрубка, гибка, кручение, кузнечная сварка.

Объемная штамповка – вид обработки металлов давлением, при котором формообразование поковки осуществляется пластическим деформированием заготовки в специальном инструменте – штампе. Холодная объемная штамповка – объемная штамповка без предварительного нагрева заготовки.

Физико-химические основы материаловедения и технологии получения материалов

Кристаллическое тело характеризуется правильным расположением атомов в пространстве. У аморфных веществ расположение атомов случайно. Кристаллические вещества образуют кристаллическую решётку. Существует 14 типов решёток. Кристаллическая решётка характеризуется элементарной ячейкой. Элементарная ячейка – кристаллическая решётка наименьшего объёма, воспроизведение которой в пространстве множество раз создаёт пространственную кристаллическую решётку. Атомы в пространстве располагаются упорядоченно, образуя кристаллическую решётку. Основные типы:

1. *Простая кубическая решётка* – в узлах кубика атомы касаются друг друга. Параметры: период решётки (расстояние между атомами $a = d$), d – диаметр атома. Для простой кубической решетки базис или число атомов, приходящихся на одну элементарную ячейку $1/8 \cdot 8 = 1$.

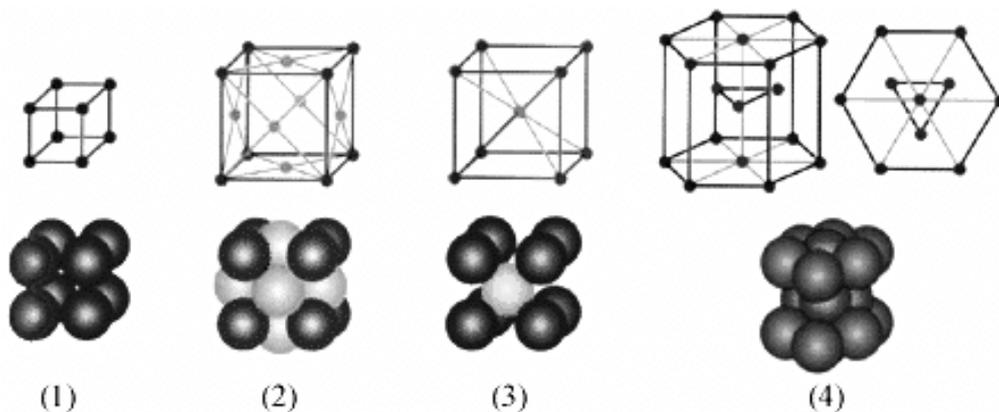


Рис. 114. Простые кристаллические решетки:

1 – простая кубическая решетка; 2 – гранецентрированная кубическая решетка;
3 – объемноцентрированная кубическая решетка

2. Кубическая объёмно-центрированная решётка характерна для тугоплавких металлов.

$$a = 1,21 \cdot d. \quad 1/8 \cdot 8 + 1 = 2. \quad \alpha\text{-Fe, Ti, W, Nb.}$$

3. Кубическая гранецентрированная решётка.

$1/8 \cdot 8 + 1/2 \cdot 6 = 4$. Характерна для пластичных металлов. Cu, γ -Fe, Au.

Анизотропия – это различие свойств в разных направлениях в кристалле. В монокристалле – анизотропия. Поликристаллические вещества (много кристаллов) изотропия (одинаковые свойства по разным направлениям).

Зерно – это кристалл неправильной формы. Кристаллы могут иметь форму дендрита, кристалла древовидной формы. Мелкое зерно прочное, крупное зерно хрупкое.

Рекристаллизация – возвращение свойств в первоначальное состояние в процессе нагрева наклепанного металла.

Адсорбция – связь между разнородными конденсированными телами при их контакте.

Механические свойства твердых тел

При сжатии как и при растяжении можно определять пределы упругости, пропорциональности и текучести. При испытаниях на сжатие чаще всего используются образцы цилиндрической формы. При кручении определяются следующие механические характеристики:

- модуль сдвига;
- предел пропорциональности;
- условный предел прочности;
- максимальный остаточный сдвиг при кручении;
- характер разрушения.

Напряжение, при котором остаточное удлинение достигает 0,05 % от длины участка образца (испытание на растяжение) – предел упругости.

При деформации дендритное строение стали изменяется. Оси дендритов располагаются вдоль направления деформации и по мере увеличения степени обжатия, температуры и длительности нагрева уменьшается различие в составе осей и межосных участков. Поперечное сечение их уменьшается, что облегчает возможность диффузионного выравнивания состава. Однако полное выравнивание не достигается и в микроструктуре деформированной стали сохраняются структурная полосчатость и карбидная ликвация.

Внутренние разрывы прутков чаще всего возникают в центральной зоне. Испытание на ударную вязкость проводят на копре маятниковом.

Конструкционные и инструментальные металлические сплавы

Стали

С повышением содержания С прочность стали возрастает из-за увеличения количества цементита в фазовом составе стали. Компоненты сплава влияют на его пластичность. С повышением содержания углерода в стали пластичность падает. Олово, сурьма, свинец, сера не растворяются в металле и, располагаясь по границам зерен, ослабляют связи между ними. Температура плавления этих элементов низкая, при нагреве под горячую деформацию они плавятся, что приводит к потере пластичности. Высокопрочными называют стали, имеющие предел прочности 1500...2000 МПа и больше.

Легированные стали

Хром повышает жаростойкость и коррозионную стойкость стали, увеличивает ее электрическое сопротивление и уменьшает коэффициент линейного расширения. Легирование стали хромом приводит к уменьшению склонности аустенитного зерна к росту при нагреве, существенному увеличению ее прокаливаемости, а также замедлению процесса распада мартенсита. Легирование кремнием увеличивает жаростойкость сталей.

Легирование стали кремнием, молибденом, вольфрамом и кобальтом способствует образованию черного излома, легирование хромом, ванадием и титаном препятствует образованию этого дефекта.

Чугуны

Содержание углерода в чугунах составляет 2,14 %.

Оловянные бронзы

Сплавы на основе меди + олово. Влияние олова на сплавы меди. Олово улучшает литейные свойства, т. к. снижает температуру плавления, образуется эвтектика, которая уменьшает ликвацию. Оловянная бронза с течением времени темнеет, поэтому из них часто изготавливают украшения. Низкий коэффициент трения. Есть однофазные (5...6 % Sn) и двухфазные (>8 % Sn). Из однофазной бронзы изготавливают медные монеты, т. к. у них высокая пластичность и хорошая коррозионная стойкость. Чаще используются двухфазные бронзы, их используют для подшипников скольжения.

Количественной характеристикой трещиностойкости является критический коэффициент интенсивности напряжений в условиях плоской деформации.

Основы теории сплавов

Сплав двух компонентов, который плавится при минимальной температуре называется *эвтектика*.

Конвекция

Процесс массопереноса в результате перемещения макрообъемов флюида (газа или жидкости) – конвекция.

Пироэлектрики

Пироэлектрики – диэлектрики, преобразующие тепловую энергию в электрическую и обратно.

Неметаллические материалы

Пластмассы – это органические вещества, связующими которых являются полимеры. Они состоят из: 1) связующее (матрица) – полимеры; 2) наполнители (низкомолекулярные вещества). Их вводят для придания специальных свойств: понижения усадки, повышения механических свойств (твёрдость НВ, σ_B , σ_T). Наполнители: порошковые (сажа, графит, древесная мука), волокниты (волокна, стекловолокна, асбоволокна), слоистые (геминакс, текстолит), стеклоткань (стеклотекстолиты), газовые (газонаполненные: поропласты, пенопласты, сотопласты); 3) пластификаторы – жидкие вещества, для повышения эластичности материала; 4) отвердители; 5) краски (оксиды металлов). Их вводят для изменения цвета пластмасс. Пластмассы: термопластичные, терморезистивные и газонаполненные.

Состав мономера: $[-CH_2-CH_2-]_n$ (термопластичные пластмассы).

Полиэтилен (ПЭ). Состав мономера: $[-CH_2-CH_2-]_n$.

Резины – пластмассы с редкосетчатой структурой, в которых связующим выступает полимер, находящийся в высокопластичном состоянии.

Термореактивные пластмассы производят на основе термореактивных смол: фенолформальдегидных, аминокальциевых, эпоксидных, полиимидных, кремнийорганических, ненасыщенных полиэфиров.

Чистый каучук ползет при комнатной температуре и особенно при повышенной, хорошо растворяется в органических растворителях.

Способ соединения композитных материалов

Сущность получения неразъемного сварного соединения двух заготовок в твердом состоянии состоит в сближении идеально чистых соединяемых поверхностей на расстояние $(2...4) \cdot 10^{-10}$ см, при котором возникают межатомные силы притяжения. Необходимым условием получения качественного соединения в твердом состоянии являются хорошая очистка и подготовка поверхностей и наличие сдвиговых пластичных деформаций в зоне соединения в момент сварки.

Наиболее распространенным и дешевым способом соединения композитных материалов является точечная сварка.

Цветные металлы и их сплавы

Тугоплавкие металлы обладают низкой жаростойкостью. При температуре 400...600 °С их нужно защищать от окисления, иначе свойства тугоплавких металлов и сплавов резко ухудшаются.

Вулканизирующие вещества (сера, оксиды цинка или магния, пероксиды и нитросоединения) непосредственно участвуют в образовании поперечных связей между макромолекулами.

Литейные свойства сплавов

Жидкотекучесть зависит от теплофизических свойств формы, технологических условий литья, состава и физико-химических свойств сплава.

Кокильным литьем называют процесс получения отливок посредством свободной заливки расплавленного металла в многократно используемые металлические формы – кокили.

Использование литых пресс-форм позволяет вносить все конструктивные доработки непосредственно в модель-эталон, а не в саму готовую пресс-форму, что снижает трудоемкость изготовления пресс-форм.

Поведение металлов в особых условиях

Для увеличения жаропрочности необходимо максимально ограничить подвижность дислокаций и замедлить диффузионные процессы.

Сборник вопросов базового экзамена. Часть А

Технические знания в области технологии материалов, материаловедения и дефектов

1. Рванины в металлопродукции могут возникнуть вследствие:
 - а) пониженной пластичности материала при деформации;
 - б) малой теплопроводности материала;
 - в) вдавливания подреза;
 - г) напряжений, вызванных структурными превращениями в твердом или хрупком металле.

2. Закаты в металлопродукции могут возникнуть вследствие:
 - а) направленной подачи металла в калибр;
 - б) вдавливания уса;
 - в) напряжений, вызванных структурными превращениями в твердом или хрупком металле;
 - г) раскатки заливок или брызг на поверхности слитка или литой заготовки.

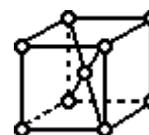
3. Флокены – это:
 - а) полости, незаполненные металлом;
 - б) каналы в литом металле;
 - в) тонкие разветвленные трещины различных размеров;
 - г) группа мелких пор.

4. К основным видам термической обработки стали относятся:
 - а) отжиг;
 - б) закалка;
 - в) отпуск;
 - г) «а» и «б»;
 - д) «а», «б» и «в».

5. Отпуск позволяет уменьшить:
 - а) хрупкость материала;
 - б) износостойкость;
 - в) слоистость металла;
 - г) «а» и «в».

6. Чугун – доэвтектический сплав железо-углерод, с содержанием углерода (в процентах):

- а) 1,28...2,14;
 б) 2,14...3,7;
 в) 3,7...4,12;
 г) 4,12...4,75.
7. Процесс получения отливок посредством свободной заливки расплавленного металла в многократно используемые металлические формы:
- а) литье в кокиль;
 б) литье в оболочковые формы;
 в) литье по выплавляемым моделям;
 г) литье под давлением.
8. К основным операциямковки относят:
- а) осадку;
 б) протяжку;
 в) прошивку;
 г) все перечисленное.
9. Рванины – это раскрытые разрывы, расположенные ... к направлению наибольшей вытяжки при деформации металлопродукции:
- а) вдоль;
 б) поперек;
 в) под углом;
 г) «б» и «в».
10. Чешуйчатость – это отслоения и разрывы в виде сетки, образовавшиеся вследствие:
- а) повышенной пластичности;
 б) пониженной пластичности;
 в) перегрева металла периферийной зоны;
 г) «б» и «в».
11. Ус – это:
- а) продольная впадина;
 б) продольный выступ;
 в) продольная трещина;
 г) отслоение языкообразной формы.
12. Кубическая объёмно-центрированная решётка характерна для:
- а) пластичных металлов: Cu, γ -Fe, Au;
 б) тугоплавких металлов: α -Fe, Ti, W, Nb;
 в) α -Ti, Mg, Zn, Cd и Be;
 г) Al, Cu, Ni, Pb, Cs и K.



13. Излом характерного темно-серого цвета, связанный с выделением графита в структуре высокоуглеродистых и легированных кремнием сталей называется:
- а) черный излом;
 - б) нафталиновый излом;
 - в) камневидный излом;
 - г) шиферный излом.
14. Поперечные горячие трещины чаще всего располагаются:
- а) по всей высоте изделия;
 - б) преимущественно в верхней части;
 - в) подголовной или донной части слитка;
 - г) в донной части слитка.
15. Закаты выявляются:
- а) при внешнем осмотре проката;
 - б) при осадке образцов в горячем состоянии;
 - в) при осадке образцов в холодном состоянии;
 - г) все перечисленное.
16. Дефект, представляющий собой канавку неправильной формы и произвольного направления, образовавшуюся в результате механических повреждений:
- а) царапина;
 - б) трещина;
 - в) раковина;
 - г) заусенец.
17. Заусенец может образоваться:
- а) в результате механических повреждений;
 - б) при резке в горячем и холодном состоянии;
 - в) при рубки горячего металла;
 - г) «б» и «в».
 - д) все перечисленное.
18. Наибольшее количество подкорковых пузырей наблюдается в:
- а) в районе узких граней и углов;
 - б) в местных продольных или поперечных углублениях;
 - в) в участках структурной неоднородности;
 - г) в участках химической неоднородности.
19. Объемная штамповка без предварительного нагрева заготовки это:
- а) горячая объемная штамповка;
 - б) холодная объемная штамповка;
 - в) объемная штамповка на молоте;
 - г) нет правильного варианта ответа.

20. С увеличением толщины сварного изделия:
- а) повышается вероятность появления дефектов;
 - б) вероятность появления дефектов не изменится;
 - в) понижается вероятность появления дефектов.
21. При сжатии как и при ... можно определять пределы упругости, пропорциональности и текучести:
- а) испытании на изгиб;
 - б) растяжении;
 - в) испытании на кручение;
 - г) «а» и «б».
22. При испытаниях на кручение обычно не оценивается такая механическая характеристика как:
- а) модуль сдвига;
 - б) предел пропорциональности;
 - в) условный предел прочности;
 - г) относительное старение.
23. При испытаниях на сжатие чаще всего используются образцы:
- а) цилиндрической формы;
 - б) прямоугольной формы;
 - в) конической формы;
 - г) форма, которых не имеет значения.
24. Основным легирующим элементом для получения коррозионно-стойких и жаропрочных сталей служит:
- а) марганец;
 - б) хром;
 - в) кремний;
 - г) титан.
25. Коэффициент температуростойкости α характеризует:
- а) термическое напряжение;
 - б) скорость распространения тепла в веществе;
 - в) температуру вещества;
 - г) «а» и «б».
26. Конечная стадия термической обработки это:
- а) отпуск;
 - б) отжиг I рода;
 - в) отжиг II рода;
 - г) закалка.

27. Количественной характеристикой трещиностойкости является:
- а) коэффициент напряженности;
 - б) критическая температура хрупкости;
 - в) критический коэффициент интенсивности напряжений;
 - г) предел выносливости.
28. Содержание углерода в среднеуглеродистых сталях составляет:
- а) $< 0,3 \%$;
 - б) $0,3...0,7 \%$;
 - в) $0,3...0,4 \%$;
 - г) $0,3...0,5 \%$.
29. С повышением содержания углерода прочность стали:
- а) существенно снижается;
 - б) остается неизменной;
 - в) существенно возрастает.
30. Сплав двух компонентов, который плавится при минимальной температуре называется:
- а) эвтектика;
 - б) ликвация;
 - в) рекристаллизация;
 - г) нет правильного варианта ответа.
31. Процесс массопереноса в результате перемещения макрообъемов флюида (газа или жидкости) носит название:
- а) теплопроводность;
 - б) конвекция;
 - в) тепловое излучение;
 - г) диффузия.
32. Напряжение, при котором остаточное удлинение достигает $0,05 \%$ от длины участка образца (испытание на растяжение) называется:
- а) предел упругости;
 - б) предел пропорциональности;
 - в) предел текучести;
 - г) предел вязкости.
33. К поверхностным дефектам относят:
- а) границы между зернами и субзернами;
 - б) краевая дислокация (искажение кристаллической решетки)
 - в) винтовая дислокация;
 - г) «б» и «в».

34. Активные диэлектрики преобразующие тепловую энергию в электрическую и обратно, это:
- а) сегнетоэлектрики;
 - б) пьезоэлектрики;
 - в) пироэлектрики;
 - г) электреты.
35. Цементацию проводят в области температур:
- а) 1100...1250 °С;
 - б) 900...950 °С;
 - в) 900...990 °С;
 - г) 850...950 °С.
36. К насыщению металлами относятся следующие операции химико-термической обработки:
- а) алитирование;
 - б) цинкование;
 - в) азотирование;
 - г) «б» и «в»;
 - д) «а» и «б».
37. Способ предупреждения перетравливания:
- а) разрыхление окалины перед травлением;
 - б) улучшение условий сбивания окалины;
 - в) поддержание арматуры прокатных станов в хорошем состоянии;
 - г) наблюдение за состоянием валков и своевременная их замена.
38. Внутренние разрывы прутков чаще всего возникают:
- а) в их центральной зоне;
 - б) у поверхности;
 - в) у торцов;
 - г) «б» и «в».
39. Скворечник – это разрыв внутри деформированного металла, обычно возникающий из:
- а) поперечной трещины;
 - б) продольной трещины;
 - в) поры;
 - г) «б» и «в».
40. Образование флокенов связано с высокой концентрацией в металле:
- а) азота;
 - б) кислорода;
 - в) водорода;
 - г) «а» и «б».

41. Наибольшей склонностью к образованию шлифовочных трещин обладают:
- а) высокохромированные стали;
 - б) железо-никелевые;
 - в) никелевые дисперсионнотвердеющие сплавы;
 - г) все перечисленные варианты ответа.
42. Волосовины на продольных микрошлифах образуются из скоплений:
- а) трещин;
 - б) пор;
 - в) металлических включений;
 - г) неметаллических включений.
43. Ликвация – это:
- а) заплеск металла на стенках;
 - б) неоднородность химического состава стали, сплава;
 - в) трещина, имеющая зигзагообразный вид;
 - г) глубокий поперечный разрыв.
44. Пресс-форма при литье по выплавляемым моделям:
- а) разъемная;
 - б) литая;
 - в) не имеет стержней.
45. Органические вещества, связующими которых являются полимеры:
- а) пластмассы;
 - б) композитные материалы;
 - в) резины;
 - г) металлы.
46. Отжиг производят для улучшения:
- а) обрабатываемости;
 - б) пластичности;
 - в) «а» и «б»;
 - г) ни «а», ни «б».
47. Что из приведенного ниже может вызвать появление шлаковых включений:
- а) кусочки вольфрама, оторвавшегося от электрода;
 - б) недостаточная очистка валиков при получении многопроходного шва;
 - в) «а» и «б»;
 - г) ни «а», ни «б».

48. С увеличением содержания углерода в стали температурный интервал обработки давлением:
- увеличивается;
 - уменьшается;
 - примерно сохраняется;
 - нерегулярен.
49. Различие свойств в разных направлениях в кристалле, это:
- анизотропия;
 - изотропия;
 - нет правильного варианта ответа.
50. Зерно – это:
- кристалл неправильной формы;
 - кристалл древовидной формы;
 - кристалл шаровидной формы;
 - кристалл цилиндрической формы.
51. Рекристаллизация – возвращение свойств в первоначальное состояние в процессе ... наклёпанного металла:
- нагрева;
 - охлаждения;
 - перегрева;
 - «а» и «в».
52. Сплавы на основе меди + олово:
- оловянные бронзы;
 - бронзы;
 - безоловянные бронзы;
 - нет правильного варианта ответа.
53. Состав мономера: $[-\text{CH}_2-\text{CH}_2-]_n$ (термопластичные пластмассы):
- фторопласт-4;
 - полиэтилен;
 - полистирол;
 - политетрафторэтилен.
54. Связь между разнородными конденсированными телами при их контакте, это:
- адсорбция;
 - адгезия;
 - когезия;
 - десорбция.

55. Резины – пластмассы с редкосетчатой структурой, в которых связующим выступает ..., находящийся в высокопластичном состоянии:
- а) полимер;
 - б) монокристалл;
 - в) кристалл;
 - г) нет правильного варианта ответа.
56. Необходимым условием получения качественного соединения в твердом состоянии являются:
- а) хорошая очистка;
 - б) хорошая подготовка поверхностей;
 - в) наличие сдвиговых пластичных деформаций в зоне соединения в момент сварки;
 - г) «а», «б» и «в».
57. Склонность к хрупкому разрушению возрастает с увеличением:
- а) остроты дефектов;
 - б) размеров дефектов;
 - в) размеров изделий;
 - г) все перечисленные варианты ответа.
58. Легирующий элемент, увеличивающий жаростойкость:
- а) кремний;
 - б) хром;
 - в) «а» и «б»;
 - г) нет правильного варианта ответа.
59. Дефекты, представляющие собой разрывы металла при его горячей деформации, вследствие перегрева в осевой зоне прутка, называются:
- а) трещинами;
 - б) внутренними разрывами;
 - в) ликвацией;
 - г) «а» и «б».
60. Флоконы представляют собой:
- а) поры;
 - б) внутренние грубые разрывы металла;
 - в) внутренние тонкие разрывы металла;
 - г) дефекты поверхности проката.
61. Корочки – участки металла, загрязненные:
- а) неметаллическими включениями;
 - б) металлическими включениями;
 - в) вкраплениями вольфрама;
 - г) «б» и «в».

62. Дефекты имеющие вид узких щелей, выступов и углублений в поперечном изломе прутков, возникающие вследствие дендритной ликвации:
- а) черный излом;
 - б) скворечник;
 - в) флокен;
 - г) расщепления-вырывы.
63. В усадочной раковине слитка из стали можно обнаружить:
- а) дендритные кристаллы;
 - б) оксиды;
 - в) неметаллические включения;
 - г) все перечисленные варианты ответа.
64. Высокопрочными называют, стали, имеющие предел прочности:
- а) 1200...1500 МПа;
 - б) 1500...2000 МПа;
 - в) 1500...2000 МПа и больше;
 - г) 2000...3000 МПа.
65. Наиболее распространенным и дешевым способом соединения композитных материалов является:
- а) соединение с помощью болтов и заклепок;
 - б) клеевое соединение;
 - в) точечная сварка;
 - г) «а» и «б».
66. Дефект образующейся при горячей деформации малопластичного металла, это:
- а) рванина;
 - б) пора;
 - в) трещина;
 - г) флокен.
67. Закат, как правило, проходит ... прутка:
- а) под острым углом к поверхности;
 - б) под прямым углом к поверхности;
 - в) по всей длине;
 - г) с небольшим наклоном к поверхности.
68. Причиной образования уса является:
- а) слишком большое сечение заготовки;
 - б) неправильная калибровка и выработка предчистового калибра;
 - в) пониженная температура металла;
 - г) все перечисленные варианты ответа.

69. Легирование стали ... препятствует образованию черного излома:
- а) кремнием;
 - б) молибденом;
 - в) цинком;
 - г) «а» и «б».
70. Продольные трещины могут располагаться:
- а) по всей длине изделия;
 - б) под острым углом к поверхности;
 - в) под прямым углом к поверхности;
 - г) нет правильного варианта ответа.
71. В поперечных микрошлифах этот дефект имеет тупое дно, не содержит оксидов, не обезуглерожен и не имеет других изменений микроструктуры:
- а) волосовина;
 - б) неметаллическое включение;
 - в) царапина;
 - г) трещина напряжения.
72. Дефект поверхности, представляющий собой острый в виде гребня выступ на конце прутка, образовавшийся при резке металла, это:
- а) заусенец;
 - б) загиб;
 - в) флокен;
 - г) скворечник.
73. Для предупреждения образования подкорковых пузырей необходимо:
- а) поддержание температурного режима выплавки и разлива;
 - б) поддержание постоянного уровня металла в кристаллизаторе;
 - в) соблюдение режима раскисления стали;
 - г) все перечисленные варианты ответа.
74. Дефект поверхности, представляющий собой местное или общее разъедание поверхности металла при травлении, это:
- а) травление;
 - б) перетрав;
 - в) флокен;
 - г) ликвация.
75. Для обнаружения скворечников, не выходящих на поверхности, применяют:
- а) визуальный контроль;
 - б) ультразвуковой контроль;

- в) вихретоковый контроль;
 - г) радиационный контроль.
76. Плоскости флокенов обычно ориентированы ... направлению деформации или под небольшим углом к нему.
- а) параллельно;
 - б) перпендикулярно;
 - в) под тупым углом;
 - г) под углом 90° .
77. Мелкие загрязнения при деформации вытягиваются в нитевидные дефекты, называемые:
- а) трещинами;
 - б) волосовинами;
 - в) морщинами;
 - г) закатами.
78. При деформации дендритное строение стали:
- а) изменяется;
 - б) не изменяется;
 - в) нет правильного варианта ответа.
79. Подусадочная ликвация проявляется тем резче, чем:
- а) меньше масса слитков;
 - б) больше масса слитков;
 - в) не зависит от массы слитков;
 - г) нет правильного варианта ответа.
80. При температуре $400...600^\circ\text{C}$ тугоплавкие металлы и сплавы резко ухудшаются, причиной этого является:
- а) раскисление;
 - б) старение;
 - в) окисление;
 - г) нет правильного варианта ответа.
81. Термореактивные пластмассы производят на основе:
- а) фенолформальдегидных смол;
 - б) эпоксидных смол;
 - в) полиимидных смол;
 - г) все перечисленные варианты ответа.
82. При повышенной комнатной температуре ... хорошо растворяется в органических растворителях:
- а) чистый каучук;

- б) синтетический каучук;
 - в) и чистый каучук, и синтетический каучук;
 - г) ни чистый каучук, и ни синтетический каучук.
83. Вулканизирующие вещества являются:
- а) сера;
 - б) цинк;
 - в) кобальт;
 - г) хром.
84. Жидкотекучесть зависит от:
- а) теплофизических свойств формы;
 - б) технологических условий литья;
 - в) физико-химических свойств сплава;
 - г) все перечисленные варианты ответа.
85. Увеличение диаметра кольцевой заготовки при вращении за счет уменьшения ее толщины:
- а) осадка;
 - б) протяжка;
 - в) раскатка;
 - г) гибка.
86. В продольных изломах флокены имеют вид:
- а) круглых или овальных пятен;
 - б) пятен неопределенной формы;
 - в) точечных участков;
 - г) группы пятен неопределенной формы.
87. Дефект представляющий собой загрязнения поверхности слитков, прутков и других изделий шлаком:
- а) пора;
 - б) группа пор;
 - в) загрязнение;
 - г) своречник.
88. Виды усадочной раковины в слитках:
- а) открытая;
 - б) закрытая;
 - в) вторичная;
 - г) все перечисленные варианты ответа.
89. Наибольшее количество пузырей наблюдается:
- а) в районе узких граней и углов;

- б) на стыке кристаллитов, растущих от узких и широких граней;
 - в) «а» и «б»;
 - г) ни «а», ни «б».
90. Для предупреждения и уменьшения ... необходимо поддерживать режущий инструмент в хорошем состоянии:
- а) заусенцев;
 - б) загибов;
 - в) трещин;
 - г) волосовин.
91. Дефекты выявляющиеся при внешнем осмотре проката или при осадке образцов в горячем или холодном состоянии, это:
- а) трещина;
 - б) закат;
 - в) заусенец;
 - г) неметаллические включения.
92. Мерой по предупреждению уса является:
- а) применение калибровки, гарантирующей от переполнения калибров;
 - б) подача металла в калибр по центру;
 - в) соблюдение температурного режима нагрева металла;
 - г) все перечисленные варианты ответа.
93. Испытание на ударную вязкость проводят на:
- а) копре маятниковом;
 - б) растяжной машине;
 - в) копре и растяжной машине;
 - г) нет правильного варианта ответа.
94. Содержание углерода в чугунах составляет:
- а) 2,14 %;
 - б) 2,16 %;
 - в) 3,14 %;
 - г) 4,2 %.
95. Для увеличения жаропрочности необходимо максимально ограничить подвижность дислокаций и замедлить ...:
- а) увеличение размера зерен;
 - б) уменьшение прочности межатомных связей;
 - в) диффузионные процессы;
 - г) уменьшение размера зерен.

96. Флокены небольшого размера типичны для сталей класса:
- а) перлитного;
 - б) мартенситного;
 - в) аустенитного;
 - г) нет правильного варианта ответа.
97. Дефект выявляющийся при внешнем осмотре проката или при осадке образцов в горячем или холодном состоянии:
- а) осевая пористость;
 - б) закаты;
 - в) корка;
 - г) частицы короны.
98. Рванины на прокате обычно расположены полосами ... направления деформации:
- а) вдоль;
 - б) поперек;
 - в) неопределенного направления;
 - г) нет правильного варианта ответа.
99. Блюм или скляб образуется из-за:
- а) смещения ручьев калибра;
 - б) задачи полосы на бурты вала;
 - в) «а» и «б»;
 - г) ни «а», ни «б».
100. Характерный дефект слитка кипящей стали, участки структурной и химической неоднородности в виде стреловидной ликвации, это:
- а) газовая ликвация;
 - б) подсадочная ликвация;
 - в) ликвационный квадрат;
 - г) ликвационный круг.

Сборник вопросов базового экзамена. Часть Б

Общие знания по ВИК в соответствии с требованиями II уровня

1. Видимое излучение имеет длины волн монохроматических составляющих в пределах:
 - а) 100...200 нм;
 - б) 200...380 нм;
 - в) 380...780 нм;
 - г) 780...940 нм.

2. Визуальный контроль, как правило, является ... контрольной операцией по приемке готового сварного узла или изделия:
 - а) первой;
 - б) второй;
 - в) последней;
 - г) «б» и «в».

3. Визуальный контроль заготовок под сварку имеет целью выявить наличие ... на поверхности кромок:
 - а) вмятин;
 - б) закатов;
 - в) грязи;
 - г) всего перечисленного

4. Информационным параметром оптического излучения может быть пространственно-временное распределение его:
 - а) амплитуды;
 - б) частоты;
 - в) фазы;
 - г) всего перечисленного.

5. Разрешающая способность зрения зависит от ... элементов ОК:
 - а) яркости;
 - б) контраста;
 - в) цветности;
 - г) всего перечисленного.

6. Качество изображения дефекта, определяющее его выявляемость, называется ... дефекта:
 - а) контрастом;

- б) видимостью;
 - в) полем зрения;
 - г) «а» и «б».
7. Единица светового потока:
- а) кандела;
 - б) люкс;
 - в) люмен;
 - г) ни одно из перечисленных.
8. При отражении ОК оптического излучения длины волн его составляющих монохроматических излучений:
- а) остаются без изменений;
 - б) увеличиваются;
 - в) уменьшаются;
 - г) «б» и «в».
9. Абсолютный показатель преломления среды не зависит от:
- а) скорости распространения света в вакууме;
 - б) скорости света в данной среде;
 - в) значения светового потока в среде;
 - г) «а» и «б».
10. Острота зрения в угловой мере зависит от:
- а) расстояния от зрачка до ОК;
 - б) контраста;
 - в) яркости фона.
 - г) все перечисленное.
11. Тепловые источники света — это:
- а) лампы накаливания;
 - б) газоразрядные источники;
 - в) люминесцентные источники;
 - г) «б» и «в».
12. Главными недостатками ламп накаливания являются:
- а) низкая световая отдача;
 - б) невысокая продолжительность горения;
 - в) недостаточная механическая прочность;
 - г) все перечисленное.
13. Лупы обычно увеличивают изображение до ... раз:
- а) 2;
 - б) 5;

- в) 10;
 - г) 20.
14. Телескопические приборы в общем случае служат для:
- а) получения увеличенного изображения предмета;
 - б) осуществления зрительного восприятия удаленных предметов, находящихся в поле зрения;
 - в) «а» и «б»;
 - г) ни «а», ни «б».
15. Гибкие телескопические приборы обычно включают в себя:
- а) объектив;
 - б) зеркало;
 - в) наборы оптических волокон;
 - г) все перечисленное.
16. Замкнутые телевизионные системы обычно используются в:
- а) проекторах;
 - б) микроскопах;
 - в) ни «а», ни «б»;
 - г) «б» и «в».
17. Компьютерные системы обрабатывают информацию, преобразованную в:
- а) аналоговую форму;
 - б) цифровую форму;
 - в) дискретную форму;
 - г) «б» и «в».
18. Шаблоны для проверки качества сборки под сварку и контроля формы и размеров готовых швов, это:
- а) инструмент;
 - б) приспособление;
 - в) ни «а», ни «б»;
 - г) «б» и «в».
19. К основным физическим светоизмерительным приборам относят:
- а) люкметры;
 - б) фотометры;
 - в) «а» и «б»;
 - г) ни «а», ни «б».
20. В фотометрии в основном применяются:
- а) фотоэлектрические приемники;

- б) радиационные термоэлементы;
 - в) болометры;
 - г) «б» и «в».
21. При повороте зеркала на угол φ падающее на него оптическое излучение поворачивается на угол:
- а) $\varphi/2$;
 - б) φ ;
 - в) 2φ ;
 - г) 4φ .
22. При приемке, разбраковке и освидетельствовании основного металла под сварку визуальным контролем проверяют:
- а) наличие маркировки;
 - б) отсутствие металлургических дефектов;
 - в) правильность разделки под сварку;
 - г) всего выше перечисленного.
23. Контроль качества сборки под сварку стыкового соединения с подготовкой кромок выполняют посредством:
- а) зачистки поверхности;
 - б) замеров;
 - в) сравнения полученных результатов с требованиями НТД;
 - г) все выше перечисленное.
24. Что является контролируемой поверхностью при визуальном контроле сварных швов:
- а) сварной шов;
 - б) зона прилегающего к сварному шву основного металла;
 - в) основной металл;
 - г) сварной шов и зона прилегающего к нему основного металла.
25. В результате проведения визуального контроля выявленные дефекты должны быть классифицированы по:
- а) типам;
 - б) размерам;
 - в) «а» и «б»;
 - г) ни «а», ни «б».
26. Методика визуального контроля конкретного объекта разрабатывается:
- а) представителем Госгортехнадзора;
 - б) предприятием—изготовителем;
 - в) в соответствии с ГОСТ 7512;
 - г) ни одним из перечисленных.

27. При визуальном контроле параметры источника излучения выбирают так, чтобы обеспечить максимум... изображения.
- а) яркости;
 - б) контраста;
 - в) «а» и «б»;
 - г) ни «а», ни «б».
28. Электрическая безопасность светового прибора определяется:
- а) классом защиты от поражения электрическим током;
 - б) степенью защиты от соприкосновения с токоведущими частями;
 - в) электрической прочностью изоляции;
 - г) всем перечисленным.
29. В зависимости от уровня взрывозащиты все световые приборы подразделяются на:
- а) два типа;
 - б) три типа;
 - в) четыре типа;
 - г) не подразделяются.
30. Пожарная безопасность светового прибора означает практическую невозможность загорания:
- а) самого прибора;
 - б) окружающей среды;
 - в) ни «а», ни «б»;
 - г) «а» и «б».
31. Защита световых приборов от пыли, воды и агрессивных сред обеспечивается, как правило, выбором соответствующих:
- а) конструкционных материалов;
 - б) светотехнических материалов;
 - в) степенью герметизации его полостей;
 - г) все перечисленное верно.
32. При проведении визуального контроля с увеличением коэффициента отражения поверхности объекта контроля требуемая освещенность указанной поверхности ...:
- а) повышается;
 - б) остается неизменной;
 - в) может быть понижена;
 - г) «а» и «б».
33. Контраст деталей изображения ОК до ... считается малым.
- а) 10 %;

- б) 20 %;
 - в) 25 %;
 - г) 30 %.
34. В процессе эксплуатации световых приборов их коэффициент полезного действия (КПД):
- а) снижается;
 - б) остается неизменным;
 - в) повышается;
 - г) нельзя сказать ничего определенного.
35. При запылении светового прибора, происходит... его КПД.
- а) повышение;
 - б) снижение;
 - в) остается неизменным;
 - г) нельзя сказать ничего определенного.
36. Дифракция света объясняется ... природой света.
- а) волновой;
 - б) корпускулярной;
 - в) «а» и «б»;
 - г) ни «а», ни «б».
37. Интерференция света объясняется ... природой света.
- а) корпускулярной;
 - б) волновой;
 - в) «а» и «б»;
 - г) ни «а», ни «б».
38. Аккомодация — это способность изменять:
- а) световую чувствительность глаза;
 - б) порог контрастности глаза;
 - в) разрешающую способность глаза;
 - г) кривизну поверхности хрусталика глаза.
39. Адаптация — это способность:
- а) изменять световую чувствительность глаза;
 - б) изменять порог контрастности глаза;
 - в) изменять разрешающую способность глаза;
 - г) приспосабливаться к различным условиям освещения.
40. Какие виды адаптации существуют:
- а) темновая и световая;
 - б) хроматическая и яркостная;

- в) «а» и «б»;
г) ни «а», ни «б».
41. При яркостях, больших ..., зрачок глаза максимально сужен и глаз быстро утомляется:
а) 200 кд/м²;
б) 500 кд/м²;
в) 1500 кд/м²;
г) 2000 кд/м².
42. Явление дискомфорта проявляется как ощущение неудобства или напряженности, возникающее при:
а) неудовлетворительном распределении яркости в освещенном пространстве;
б) шуме в помещении;
в) «а» и «б»;
г) ни «а», ни «б».
43. Зрительная работоспособность — это способность:
а) выполнять зрительную работу;
б) поддерживать высокую степень мобилизации зрительных функций;
в) «а» и «б»;
г) ни «а», ни «б».
44. Световым прибором называется устройство, содержащее:
а) источник света;
б) светотехническую арматуру;
в) «а» и «б»;
г) ни «а», ни «б».
45. К главным признакам световых приборов относят:
а) основную светотехническую функцию и характер светораспределения;
б) условия эксплуатации и основное назначение;
в) «а» и «б»;
г) ни «а», ни «б».
46. Светильник это световой прибор, перераспределяющий свет лампы (ламп) внутри ... телесных углов и обеспечивающий угловую концентрацию светового потока с коэффициентом усиления не более ...:
а) больших ... 30;
б) малых ... 30;
в) больших ... 50;
г) малых ... 50.

47. Эффективность промышленной осветительной установки наиболее полно характеризуется:
- а) уровнем производительности труда;
 - б) количеством допущенного брака;
 - в) вызываемым зрительным и общим утомлением;
 - г) всем перечисленным.
48. В мировой практике в производственных помещениях принято нормировать ... и учитывать:
- а) освещенность на рабочих поверхностях ... коэффициент отражения рабочей поверхности;
 - б) освещенность наиболее удаленных от светильников мест помещения;
 - в) «а» и «б»;
 - г) ни «а», ни «б».
49. К нормируемым качественным показателям промышленных осветительных установок относят:
- а) показатель освещенности;
 - б) глубину пульсации освещенности;
 - в) неравномерность распределения освещенности;
 - г) все перечисленное.
50. Газоразрядные источники света, как правило, содержат ..., что создает угрозу заражения воздуха, почвы и водных источников.
- а) бор;
 - б) бериллий;
 - в) ртуть;
 - г) все перечисленное.
51. В качестве средства доступа к светильникам используют:
- а) приставные лестницы;
 - б) стремянки;
 - в) специальные передвижные устройства;
 - г) все перечисленное.
52. Основным инструментом при контроле для обнаружения отклонений формы и размеров поверхностных дефектов, крупных трещин, подрезов, эрозионных и коррозионных повреждений является:
- а) глаз;
 - б) лупа;
 - в) перископический прибор;
 - г) «а» и «в».

53. Для компенсации возможного в процессе эксплуатации спада освещенности при проектировании осветительных установок (ОУ) должны вводиться ... и предусматриваться...:
- а) коэффициенты запаса... регулярное обслуживание ОУ;
 - б) коэффициенты запаса ... измерение освещенности;
 - в) «а» и «б»;
 - г) ни «а», ни «б».
54. Основными работами при обслуживании осветительных установок являются:
- а) замена источников света;
 - б) замена светильников;
 - в) чистка осветительных приборов;
 - г) «а» и «в».
55. Чистка осветительного прибора местного освещения должна выполняться работающим ... при уборке своего рабочего места.
- а) ежегодно;
 - б) ежемесячно;
 - в) еженедельно;
 - г) ежедневно.
56. Наименее эффективна очистка отражателей:
- а) сухой протиркой;
 - б) теплым мыльным раствором;
 - в) специальным раствором;
 - г) «б» и «в».
57. Опыт показывает, что оптимальное естественное освещение обеспечивает:
- а) отрицательное психологическое воздействие на человека;
 - б) повышение утомляемости человека;
 - в) экономию электроэнергии на 5...10 %;
 - г) более высокий уровень производительности зрительной работы.
58. Абсолютно точно определить размер детали:
- а) возможно;
 - б) возможно, используя очень точные измерительные средства;
 - в) невозможно.
59. Допуск на обработку в чертежах показывается в виде... от номинального размера.
- а) одного отклонения
 - б) двух отклонений;

- в) «а» и «б»;
 - г) ни «а», ни «б».
60. Измерением называется нахождение значения физической величины ... путем ...
- а) теоретическим;
 - б) теоретическим ... с помощью специальных технических средств;
 - в) опытным ... с помощью специальных технических средств;
 - г) все вышеприведенное неверно.
61. Измерение не может быть:
- а) прямым;
 - б) косвенным;
 - в) абсолютным;
 - г) все вышеперечисленное неверно.
62. Предельные калибры используют при ... выпуске изделий.
- а) единичном;
 - б) серийном;
 - в) массовом;
 - г) «а» и «б».
63. Можно ли цену деления прибора принимать за точность измерения?
- а) можно;
 - б) нельзя.
64. Среди погрешностей измерений различают:
- а) систематические;
 - б) случайные;
 - в) грубые (промахи);
 - г) все перечисленные выше.
65. Голографический метод неразрушающего контроля не позволяет обнаруживать:
- а) поверхностные дефекты типа нарушения сплошности материала (трещины, расслоения и т. п.) на деталях из металлических сплавов, полимеров и композитов;
 - б) посторонние предметы внутри полых непрозрачных конструкций;
 - в) нарушения структуры материала;
 - г) отклонения формы ОК от нормы.
66. На голограмме ОК регистрируется:
- а) амплитуда рассеиваемой ОК световой волны;

- б) фаза рассеиваемой ОК световой волны;
 - в) «а» и «б»;
 - г) ни «а», ни «б».
67. Выбор средства измерений осуществляют с учетом необходимости обеспечения:
- а) требуемого диапазона измерений;
 - б) минимально-возможной погрешности измерений;
 - в) допускаемой погрешности измерений;
 - г) «а» и «в».
68. Какой светофильтр защищает от вредного ультрафиолетового излучения?
- а) СЗС-24;
 - б) БС-8;
 - в) ЗС-10.
69. Рабочие меры – это:
- а) меры, предназначенные для воспроизведения и хранения верных значений единиц измерений;
 - б) меры, служащие для воспроизведения, хранения и передачи другим образцовым мерам единиц измерения с наивысшей точностью, достигаемой при данном состоянии науки и техники;
 - в) меры, позволяющие определять значения измеряемой величины с заданной точностью.
70. Установленный срок службы луп с пластмассовой оптикой составляет:
- а) 1 год;
 - б) 2 года;
 - в) 4 года.
71. Образцовые меры – это:
- а) меры, предназначенные для воспроизведения и хранения верных значений единиц измерений;
 - б) меры, служащие для воспроизведения, хранения и передачи другим образцовым мерам единиц измерения с наивысшей точностью, достигаемой при данном состоянии науки и техники;
 - в) меры, позволяющие определять значения измеряемой величины с заданной точностью.
72. Эталоны – это:
- а) меры, предназначенные для воспроизведения и хранения верных значений единиц измерений;

- б) меры, служащие для воспроизведения, хранения и передачи другим образцовым мерам единиц измерения с наивысшей точностью, достигаемой при данном состоянии науки и техники;
 - в) меры, позволяющие определять значения измеряемой величины с заданной точностью.
73. Какой минимальный размер дефекта регистрируется при визуальном контроле согласно ГОСТ 3242:
- а) 0,1 мм;
 - б) 0,2 мм;
 - в) 0,25 мм;
 - г) 0,5 мм.
74. Разность между показанием и действительным значением (полученным прибором более высокого класса) есть:
- а) порог чувствительности;
 - б) цена деления шкалы;
 - в) чувствительность прибора;
 - г) точность отсчета;
 - д) погрешность показаний.
75. Значение измеряемой величины, соответствующее одному делению шкалы, это:
- а) порог чувствительности;
 - б) цена деления шкалы;
 - в) чувствительность прибора;
 - г) точность отсчета;
 - д) погрешность показаний.
76. Наименьшее значение измеряемой величины, вызывающее заметное изменение показаний, это:
- а) порог чувствительности;
 - б) цена деления шкалы;
 - в) чувствительность прибора;
 - г) точность отсчета;
 - д) погрешность показаний.
77. Концевые меры длины, согласно ГОСТ 9038, выпускаются следующих классов точности:
- а) 0;
 - б) 0, 1;
 - в) 0, 1, 2;
 - г) 0, 1, 2, 3.

78. Угловые плитки, согласно ГОСТ 2875, выпускаются следующих классов точности:
- а) 0;
 - б) 0, 1;
 - в) 0, 1, 2;
 - г) 0, 1, 2, 3.
79. Для измерения плоских и криволинейных деталей с учетом ошибок формы, но без учета шероховатости предпочтительней применять измерительный наконечник следующей формы и размера:
- а) плоский, диаметр измерительной поверхности не менее 10 мм;
 - б) сферический, $R \geq 2$ мм;
 - в) плоский, ножевидный;
 - г) сферический, $R = 0,3...2,5$ мм;
 - д) игла, радиус сферы – 0,002...0,017 мм.
80. Для измерения деталей с криволинейными поверхностями (при измерении методом касательных) предпочтительней применять измерительный наконечник следующей формы и размера:
- а) плоский, диаметр измерительной поверхности не менее 10 мм;
 - б) сферический, $R \geq 2$ мм;
 - в) плоский, ножевидный;
 - г) сферический, $R = 0,3...2,5$ мм;
 - д) игла, радиус сферы – 0,002...0,017 мм.
81. Для контроля ошибки формы и волнистости предпочтительней применять измерительный наконечник следующей формы и размера:
- а) плоский, диаметр измерительной поверхности не менее 10 мм;
 - б) сферический, $R \geq 2$ мм;
 - в) плоский, ножевидный;
 - г) сферический, $R = 0,3...2,5$ мм;
 - д) игла, радиус сферы – 0,002...0,017 мм.
82. Для измерения шероховатости предпочтительней применять измерительный наконечник следующей формы и размера:
- а) плоский, диаметр измерительной поверхности не менее 10 мм;
 - б) сферический, $R \geq 2$ мм;
 - в) плоский, ножевидный;
 - г) сферический, $R = 0,3...2,5$ мм;
 - д) игла, радиус сферы – 0,002...0,017 мм.

83. Наиболее точное средство измерения углового размера:
- а) угловая плитка;
 - б) угольник;
 - в) калибр (шаблон);
 - г) механический угломер.
84. Измерение – это:
- а) стадия контроля, при котором устанавливается соответствие физических величин заданным значениям;
 - б) процесс нахождения численного значения измеряемого параметра объекта;
 - в) процедура уточнений результатов контроля.
85. Контроль – это:
- а) проверка соответствия продукции или процесса, от которого зависит качество продукции, установленным техническим требованиям;
 - б) нахождение значений физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств;
 - в) процедура уточнений результатов контроля.
86. Мера – это:
- а) средство измерения, которое не имеет шкалы и предназначено для контроля предельных размеров и отклонений геометрической формы;
 - б) средство измерения, которое дает возможность определить измеряемую величину в установленных единицах измерения;
 - в) средство измерения, предназначенное для воспроизведения единиц измерения или величин, кратных (дольных) ей.
87. Номинальный размер – это:
- а) величина, полученная в результате обработки или изготовления, значение которой неизвестно;
 - б) размер, закладываемый в нормативно-техническую или конструкторскую документацию, относительно которого определяются предельные размеры и который служит началом отсчета отклонений;
 - в) размер, установленный измерением с допустимой погрешностью.
88. Допуск – это:
- а) разность между номинальным и предельным размерами;
 - б) абсолютная величина алгебраической разности между верхним и нижним отклонениями;

- в) алгебраическая разность между предельным и действительным или измеренными и номинальным размером.
89. Поле допуска — это:
- а) разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами;
 - б) поле, ограниченное верхним и нижним отклонениями;
 - в) абсолютная величина алгебраической разности между верхним и нижним отклонениями.
90. Класс точности измерительного прибора — это:
- а) половина цены деления шкалы прибора;
 - б) величина, указанная в паспорте на прибор;
 - в) степень приближения измеренной прибором величины (размера) к действительному размеру.
91. Штриховые меры длины — это:
- а) меры, у которых размер, выраженный в определенных единицах (их дробных частях), определяется расстоянием между осями двух соответствующих штрихов мер;
 - б) меры, имеющие установленные для целей измерения расстояния между измерительными поверхностями;
 - в) линейки, рулетки, микрометры, штангенциркули.
92. Измерительные металлические линейки изготавливают длиной:
- а) 150, 300, 500 мм;
 - б) 300, 500, 1000 мм;
 - в) 150, 300, 500, 1000 м.
93. Измерительные металлические линейки изготавливают с ценой деления:
- а) 0,5; 1,0 мм;
 - б) 0,5; 3,0; 2,0 мм;
 - в) только 1,0 мм.
94. Предел допускаемой погрешности длины всей шкалы и расстояний между любыми штрихами металлической измерительной линейки составляет:
- а) 0,4...0,6 мм;
 - б) 0,2...0,3 мм;
 - в) 1,0 мм.
95. Концевые меры выпускают в виде:
- а) наборов концевых мер различных классов точности;

- б) наборов концевых мер различных номиналов;
 - в) «а» и «б».
96. Классы точности присваивают:
- а) всем наборам концевых мер;
 - б) образцовым концевым мерам;
 - в) рабочим концевым мерам.
97. Штангенциркуль изготавливают с отсчетом по нониусу:
- а) 0,01; 0,05; 0,10 мм;
 - б) 0,05; 0,10 мм;
 - в) 0,10 мм.
98. Общая погрешность измерения микрометром находится в пределах:
- а) 50...100 мкм;
 - б) 20...50 мкм;
 - в) 5...50 мкм.
99. Шероховатость поверхности – это:
- а) совокупность периодических неровностей с относительно большими шагами на участке, длина которого превышает нормированную базовую длину;
 - б) совокупность периодических неровностей с относительно малыми шагами на базовой длине.
 - в) «а» и «б».
100. Волнистость поверхности – это:
- а) совокупность периодических неровностей с относительно большими шагами на участке, длина которого превышает нормированную базовую длину;
 - б) совокупность периодических неровностей с относительно малыми шагами на базовой длине;
 - в) «а» и «б».
101. Шероховатость поверхности характеризуется:
- а) вертикальными параметрами R_a , R_z , R_{\max} ;
 - б) горизонтальными параметрами S_m , S , t_p ;
 - в) средним арифметическим отклонением профиля R_a ;
 - г) высотой неровности профиля по 10-и точкам;
 - д) «а» и «б».
102. Высота неровностей профиля по 10-и точкам обозначается:
- а) R_z ;
 - б) R_a ;

- в) R_{\max} ;
- г) S_m .

103. Среднее арифметическое отклонение профиля обозначается:

- а) R_z ;
- б) R_a ;
- в) R_{\max} ;
- г) S_m .

104. Высота неровности профиля по 10-и точкам R_z нормируется в диапазоне:

- а) 0,025...1600,0 мкм;
- б) 0,008...100,0 мкм;
- в) 0,002...12,5 мкм.

105. Среднее арифметическое отклонение профиля R_a нормируется в диапазоне:

- а) 0,025...1600,0 мкм;
- б) 0,008...100,0 мкм;
- в) 0,002...12,5 мкм.

106. К бесконтактным средствам измерения шероховатости относятся:

- а) визуальное сравнение с эталоном шероховатости;
- б) двойной микроскоп;
- в) микроинтерферометр;
- г) все перечисленное.

107. К контактными средствами измерения шероховатости относятся:

- а) двойной микроскоп;
- б) профилометр;
- в) профилограф;
- г) «а», «б» и «в».
- д) «б» и «в».

108. Профилометр позволяет определить параметр шероховатости:

- а) R_z ;
- б) R_a ;
- в) R_z и R_a .

109. Профилограф позволяет определить параметр шероховатости:

- а) R_z ;
- б) R_a ;
- в) R_z , R_a и R_{\max} .

110. Единство точности измерений у однотипных приборов и инструментов достигается:
- а) поверкой всех приборов и мер после их изготовления;
 - б) поверкой всех приборов и мер после их ремонта;
 - в) периодической поверкой всех приборов и мер во время их использования.
111. Поверка средства измерения — это:
- а) проверка после изготовления и ремонта;
 - б) экспериментальное определение погрешности средства измерения;
 - в) экспериментальное определение погрешности средства измерения, установление его пригодности к использованию.
112. Допускаемая погрешность измерения — это:
- а) предельное значение погрешности измерения, которое может быть допущено при измерении;
 - б) погрешность средства измерения;
 - в) погрешность от всех источников погрешности.
113. Допускаемая погрешность измерения линейных размеров нормируется:
- а) чертежной документацией;
 - б) государственными стандартами;
 - в) отраслевой нормативно-технической документацией;
 - г) паспортными данными на измерительный инструмент;
 - д) «б» и «г».
114. Визуальный контроль выполняется:
- а) без применения специальных оптических приборов;
 - б) с применением луп, не более чем с 10-кратным увеличением;
 - в) с применением луп, зеркал, эндоскопов;
 - г) «а», «б» и «в».
115. Систематические ошибки — это:
- а) ошибки, обусловленные своим происхождением рядом причин, действия которых непредсказуемы при каждом измерении;
 - б) ошибки, величина которых одинакова во всех измерениях, проводящихся одним и тем же методом и прибором;
 - в) ошибки, появляющиеся в результате систематической невнимательности оператора.
116. Случайные ошибки — это:
- а) ошибки, обусловленные своим происхождением рядом причин, действия которых непредсказуемы при каждом измерении;

- б) ошибки, величина которых одинакова во всех измерениях, проводящихся одним и тем же методом и прибором;
 - в) ошибки, появляющиеся в результате систематической невнимательности оператора.
117. Чувствительность визуального контроля по ГОСТ 23479 равна:
- а) 0,01 мм;
 - б) 0,05 мм;
 - в) 0,10 мм.
118. Минимальный размер дефекта, выявляемого невооруженным глазом оператора, равен:
- а) 0,01 мм;
 - б) 0,05 мм;
 - в) 0,10 мм.
119. Освещенность поля зрения при визуальном и измерительном контроле:
- а) должна быть не менее 500 лк;
 - б) должна быть не менее 1000 лк;
 - в) регламентируется нормативной документацией на конкретное изделие;
 - г) в соответствии с ГОСТ 23479 от 300 до 5000 лк в зависимости от размеров дефектов, контраста дефекта с фоном, характера освещения поля зрения.
120. Контраст K определяется по формуле (B_o – яркость объекта, B_ϕ – яркость фона):
- а) $K = (B_o - B_\phi) / B_o$;
 - б) $K = (B_o - B_\phi) / (B_o + B_\phi)$;
 - в) $K = 2(B_o - B_\phi) / (B_o + B_\phi)$.
121. Эффективность применения ВИК зависит от:
- а) правильности выбора положения ОК;
 - б) правильности выбора спектральных и светотехнических характеристик освещения;
 - в) норм оценки качества согласно требованиям НТД;
 - г) «а» и «б»;
 - д) «а», «б» и «в»
122. Что определяет выбор визуального метода контроля?
- а) требования конструкторской или нормативно-технической документации;
 - б) диапазон длин волн;

- в) чувствительность;
 - г) тип объекта контроля.
123. Какие физико-технические условия определяют возможность проведения ВИК?
- а) система освещения;
 - б) физико-химические свойства материала объекта контроля;
 - в) диапазон контролируемых параметров.
124. Какие физико-технические условия определяют возможность проведения ВИК?
- а) физико-химические свойства материала объекта контроля;
 - б) механическое состояние поверхности;
 - в) диапазон контролируемых параметров.
125. В каком случае глаз получает ощущение белого света?
- а) если излучение, которое он воспринимает, имеет непрерывный инфракрасный спектр с любым распределением энергий в нем;
 - б) если воспринимаемое излучение, имеет непрерывный спектр с распределением энергии солнечного излучения;
 - в) если воспринимаемое излучение, имеет непрерывный спектр с распределением энергии излучения абсолютно черного тела.
126. В каких случаях глаз получает цветное впечатление от объекта?
- а) отдельные составляющие излучения имеют малую интенсивность;
 - б) цвет непрозрачных объектов зависит от свойства их поверхности частотно-избирательно поглощать излучение;
 - в) цвет непрозрачных объектов зависит от свойства их поверхности частотно-избирательно отражать излучение.
127. Какова средняя величина предельного угла разрешения глаза при расстоянии наилучшего зрения, равного 250 мм?
- а) 1';
 - б) 1";
 - в) 1°.
128. От каких факторов зависит разрешающая способность глаза?
- а) освещенности и контраста предмета с фоном;
 - б) диаметра зрачка глаза;
 - в) психофизиологического состояния человека.
129. Указать время адаптации нормального глаза к резкому изменению яркости:

- а) 10 мин;
 - б) 20...30 мин;
 - в) 45 мин.
130. Определить рациональные условия работы глаза:
- а) повышение производительности работы глаза;
 - б) работа глаза при красном и фиолетовом цвете освещения;
 - в) работа глаза при желто-зеленом цвете освещения, время наблюдения близких предметов сведено к минимуму.
131. Какое невидимое излучение имеют отрицательные воздействия на глаз человека?
- а) ультрафиолетовое;
 - б) инфракрасное.
132. Указать основные оптические характеристики глаза. Угол обзора по вертикали:
- а) менее 125° ;
 - б) более 125° .
133. Указать основные оптические характеристики глаза. Угол обзора по горизонтали:
- а) 150° ;
 - б) 90° ;
 - в) 210° .
134. Соотношения яркостей ряда видимых в поле зрения однотипных объектов определяются:
- а) фотометрическими яркостями этих объектов;
 - б) геометрическими параметрами отраженного светового пучка;
 - в) спектральным составом источника освещения.
135. При выборе источника освещения для визуального контроля учитывается:
- а) спектральный состав и его яркость;
 - б) светооптическая схема осветителя;
 - в) размер тела накала источника.

**Сборник вопросов общего экзамена
по основному методу неразрушающего контроля**

Визуальный и измерительный контроль

1. Когерентные волны — это волны:
 - а) с постоянной разностью фаз;
 - б) с одинаковой интенсивностью;
 - в) с одинаковой частотой.

2. Поглощение света объясняется:
 - а) его волновой природой;
 - б) корпускулярной теорией;
 - в) теорией дифракции;
 - г) «а» и «в».

3. Оптическая длина пути зависит от:
 - а) геометрической длины пути;
 - б) частоты;
 - в) показателя преломления среды;
 - г) «а» и «в».

4. Явления, обусловленные зависимостью показателей преломления вещества от длины волны света, называются:
 - а) дифракцией;
 - б) интерференцией;
 - в) дисперсией;
 - г) монохроматизацией.

5. Световые приборы, как правило, испускают:
 - а) монохроматическое излучение;
 - б) излучение с прерывистым линейчатым спектром;
 - в) излучение, имеющее непрерывный спектр;
 - г) «а» и «б».

6. При длине волны света 550 нм монохроматический лучистый поток 1 Вт эквивалентен световому потоку:
 - а) 433 лм;
 - б) 683 лм;
 - в) 874 лм;
 - г) 1008 лм.

7. Определить освещенность, созданную электролампой с силой света 400 св на горизонтальной поверхности стола в центре, при радиусах 1,0 и 2,0 м, если лампа подвешена над центром стола на высоте 2 м от его поверхности.
- а) 150, 70, 40 лк;
 - б) 100, 70, 35 лк;
 - в) 80, 60, 30 лк;
 - г) 70, 50, 30 лк.
8. Определить в лм/м светность светлой матовой поверхности объекта контроля площадью 240 см^2 , отражающей 30 % падающего на него светового потока 80 лм:
- а) 1000;
 - б) 2000;
 - в) 3000;
 - г) 4000.
9. Оценить яркость вольфрамовой нити накала в осевом направлении, если сила света лампы в том же направлении 100 св, а площадь светящейся поверхности нити равна $0,2 \text{ см}^2$.
- а) 5 нт;
 - б) 50 нт;
 - в) 500 нт;
 - г) 5000 нт.
10. Как правило, характер отражения света от поверхностей объектов контроля можно оценить как:
- а) зеркальный;
 - б) направленно-рассеянный;
 - в) диффузный;
 - г) «а» и «в».
11. При наблюдении объектов контроля через лупу центр зрачка расположен:
- а) между лупой и ее задним фокусом;
 - б) в заднем фокусе;
 - в) между первым задним фокусом и вторым;
 - г) в любой точке за лупой.
12. Геометрическая глубина резкости лупы зависит от:
- а) диаметра зрачка глаза;
 - б) фокусного расстояния лупы;
 - в) произведения видимого увеличения лупы на фокусное расстояние;
 - г) «а» и «б».

13. Если наблюдение ведется одним глазом, то при поиске светлых объектов на темном поле острота зрения:
- а) не зависит от освещенности второго глаза;
 - б) повышается, если второй глаз освещен;
 - в) понижается, если второй глаз освещен;
 - г) не зависит от вышеперечисленного.
14. Световая чувствительность глаза:
- а) не зависит от его светового порога;
 - б) прямо пропорциональна световому порогу глаза;
 - в) обратно пропорциональна световому порогу глаза;
 - г) все перечисленное неверно.
15. С увеличением яркости фона контрастная чувствительность глаза ..., достигая максимального значения ...
- а) падает ... 50...120 нг;
 - б) растет ...50...120 нг;
 - в) падает ... 130...640 нг;
 - г) растет ... 130...640 нг.
16. Если глаз разрешает половину угловой минуты, то острота зрения равна:
- а) 0,5;
 - б) 1,0;
 - в) 2,0;
 - г) 4,0.
17. Понятие видимости дефекта ... различение его формы, а также ... опознание его вида:
- а) включает, включает;
 - б) включает, не включает;
 - в) не включает, включает;
 - г) не включает, не включает.
18. Главными недостатками вольфрамовых ламп накаливания являются низкая световая отдача ... лм/Вт и невысокая продолжительность горения (не более ... часов):
- а) 1...70, ... 1000;
 - б) 10...20, ... 2000;
 - в) 20...30, ... 3000;
 - г) 30...40, ... 4000.
19. Световая отдача современных газоразрядных ламп достигает значений ... лм/вт при сроке службы около... тыс.ч.
- а) 50, ... 5;

- б) 50, ... 15;
 - в) 100, ... 5;
 - г) 100, ...15.
20. Электролюминесцентная панель представляет собой плоский ... с размещенным внутри его ...:
- а) резистор, ... полупроводником;
 - б) конденсатор, ... полупроводником;
 - в) резистор, ... люминофором;
 - г) конденсатор, ... люминофором.
21. Светоизлучающие диоды применяются главным образом в качестве малогабаритных ... и различных ...:
- а) приемников света, ... регуляторов;
 - б) светоприемников, ... индикаторов;
 - в) осветителей, ... индикаторов;
 - г) все перечисленное неверно.
22. Лазеры представляют собой генераторы оптического излучения, которое обладает такими свойствами как:
- а) широкой направленностью;
 - б) высокой степенью монохроматичности;
 - в) «а» и «б»;
 - г) ни «а», ни «б».
23. В фотометрии в основном применяются:
- а) фотоэлектрические приемники;
 - б) радиационные термоэлементы;
 - в) болометры;
 - г) «б» и «в».
24. При повороте зеркала на угол φ среднее падающее на него оптическое излучение поворачивается на угол:
- а) $\varphi/2$;
 - б) φ ;
 - в) 2φ ;
 - г) 4φ ;
25. При приемке, разбраковке и освидетельствовании основного металла под сварку визуальным контролем проверяют:
- а) наличие маркировки;
 - б) отсутствие металлургических дефектов;
 - в) правильность разделки под сварку;
 - г) всего выше перечисленного.

26. Контроль качества сборки под сварку стыкового соединения с подготовкой кромок выполняют посредством:
- а) зачистки поверхности;
 - б) замеров;
 - в) сравнения полученных результатов с требованиями НТД;
 - г) всего выше перечисленного.
27. Что является контролируемой поверхностью при визуальном контроле сварных швов:
- а) сварной шов;
 - б) зона прилегающего к сварному шву основного металла;
 - в) основной металл;
 - г) сварной шов и зона прилегающего к нему основного металла.
28. В результате проведения визуального контроля выявленные дефекты должны быть классифицированы по:
- а) типам;
 - б) размерам;
 - в) «а» и «б»;
 - г) ни «а», ни «б».
29. Методика визуального контроля конкретного объекта разрабатывается:
- а) представителем Госгортехнадзора;
 - б) предприятием – изготовителем;
 - в) в соответствии с ГОСТ 7512;
 - г) ни одним из перечисленных.
30. При визуальном контроле параметры источника излучения выбирают так, чтобы обеспечить максимум ... изображения^
- а) яркости;
 - б) контраста;
 - в) «а» и «б»;
 - г) ни «а», ни «б».
31. Электрическая безопасность светового прибора определяется:
- а) классом защиты от поражения электрическим током;
 - б) степенью защиты от соприкосновения с токоведущими частями;
 - в) электрической прочностью изоляции;
 - г) всем перечисленным.
32. В зависимости от уровня взрывозащиты все световые приборы подразделяются на:
- а) два типа;

- б) три типа;
 - в) четыре типа;
 - г) не подразделяются.
33. Пожарная безопасность светового прибора означает практическую невозможность загорания:
- а) самого прибора;
 - б) окружающей среды;
 - в) «а» и «б»;
 - г) ни «а», ни «б».
34. Защита световых приборов от пыли, воды и агрессивных сред обеспечивается, как правило, выбором соответствующих:
- а) конструкционных материалов;
 - б) светотехнических материалов;
 - в) степенью герметизации его полостей;
 - г) все перечисленное верно.
35. При проведении визуального контроля с увеличением коэффициента отражения поверхности объекта контроля требуемая освещенность указанной поверхности ...:
- а) повышается;
 - б) остается неизменной;
 - в) может быть понижена;
 - г) «а» и «б».
36. Контраст деталей изображения ОК до ... считается малым:
- а) 10 %;
 - б) 20 %;
 - в) 25 %;
 - г) 30 %.
37. В процессе эксплуатации световых приборов их коэффициент полезного действия (КПД):
- а) снижается;
 - б) остается неизменным;
 - в) повышается;
 - г) нельзя высказать ничего определенного.
38. При запылении светового прибора происходит ... его КПД:
- а) повышение;
 - б) снижение;
 - в) остается неизменным;
 - г) нельзя высказать ничего определенного.

39. Дифракция света объясняется ... природой света:
- а) волновой;
 - б) корпускулярной;
 - в) «а» и «б»;
 - г) ни «а», ни «б».
40. Интерференция света объясняется ... природой света:
- а) корпускулярной;
 - б) волновой;
 - в) «а» и «б»;
 - г) ни «а», ни «б».
41. Аккомодация – это способность глаза изменять:
- а) световую чувствительность глаза;
 - б) порог контрастности глаза;
 - в) разрешающую способность глаза;
 - г) кривизну поверхности хрусталика глаза.
42. Адаптация – это способность глаза:
- а) изменять световую чувствительность глаза;
 - б) изменять порог контрастности глаза;
 - в) изменять разрешающую способность глаза;
 - г) приспосабливаться к различным условиям освещения.
43. Какие виды адаптации существуют:
- а) темновая и световая;
 - б) хроматическая и яркостная;
 - в) «а» и «б»;
 - г) ни «а», ни «б».
44. При яркостях, больших ..., зрачок глаза максимально сужен и глаз быстро утомляется:
- а) 200 кд/м²;
 - б) 500 кд/м²;
 - в) 1500 кд/м²;
 - г) 2000 кд/м².
45. Явление дискомфорта проявляется как ощущение неудобства или напряженности, возникающее при:
- а) неудовлетворительном распределении яркости в освещенном пространстве;
 - б) шуме в помещении;
 - в) «а» и «б»;
 - г) ни «а», ни «б».

46. Зрительная работоспособность — это способность:
- а) выполнять зрительную работу;
 - б) поддерживать высокую степень мобилизации зрительных функций;
 - в) «а» и «б»;
 - г) ни «а», ни «б».
47. Световым прибором называется устройство, содержащее:
- а) источник света;
 - б) светотехническую арматуру;
 - в) «а» и «б»;
 - г) ни «а», ни «б».
48. К главным признакам световых приборов относят:
- а) основную светотехническую функцию и характер светораспределения;
 - б) условия эксплуатации и основное назначение;
 - в) «а» и «б»;
 - г) ни «а», ни «б».
49. Светильник это световой прибор, перераспределяющий свет лампы (ламп) внутри ... телесных углов и обеспечивающий угловую концентрацию светового потока сквозкоэффициентом усиления не более ...:
- а) больших ... 30;
 - б) малых ... 30;
 - в) больших ... 50;
 - г) малых ... 50.
50. Эффективность промышленной осветительной установки наиболее полно характеризуется:
- а) уровнем производительности труда;
 - б) количеством допущенного брака;
 - в) вызываемым зрительным и общим утомлением;
 - г) всем перечисленным.
51. В мировой практике в производственных помещениях принято нормировать ... и учитывать ...:
- а) освещенность на рабочих поверхностях ... коэффициент отражения рабочей поверхности;
 - б) освещенность наиболее удаленных от светильников мест помещения ... показатель ослепленности;
 - в) «а» и «б»;
 - г) ни «а», ни «б».

52. К нормируемым качественным показателям промышленных осветительных установок относят:
- а) показатель освещенности;
 - б) глубину пульсации освещенности;
 - в) неравномерность распределения освещенности;
 - г) все перечисленное.
53. Газоразрядные источники света, как правило, содержат ..., что создает угрозу заражения воздуха, почвы и водных источников:
- а) бор;
 - б) бериллий;
 - в) ртуть;
 - г) все перечисленное.
54. К факторам, влияющим на точность и качество светотехнических расчетов и независящим от способа расчета относят:
- а) выявление объектов, могущих оказывать затеняющее действие на освещаемые поверхности;
 - б) выбор типа источника света;
 - в) отклонение светотехнических характеристик источников света от номинальных;
 - г) все перечисленное.
55. Газоразрядные лампы, питаемые от сети переменного тока 50 Гц, создают пульсацию светового потока с частотой ...:
- а) 25 Гц;
 - б) 50 Гц;
 - в) 100 Гц;
 - г) 200 Гц.
56. Для снижения слепящего действия отраженных бликов используют осветительные приборы ... с яркостью выходного отверстия и, в частности, с ...:
- а) увеличенной, ... отражателями;
 - б) уменьшенной, ... отражателями;
 - в) уменьшенной, ... рассеятелями;
 - г) увеличенной, ... рассеятелями.
57. Специфика работ по визуальному контролю обуславливает целесообразность преимущественного использования источников света, обеспечивающих:
- а) различение цветов;
 - б) различение оттенков;
 - в) «а» и «б»;
 - г) ни «а», ни «б».

58. Светлые пятна на темном фоне кажутся ... по сравнению с такими же по разме темными пятнами на светлом фоне:
- а) большими;
 - б) меньшими;
 - в) равными;
 - г) «б» и «в».
59. Различают прямой и обратный вид контраста: если объект темнее фона, контраст называют ..., если ярче фона – ...:
- а) прямой ... обратный;
 - б) обратный ... прямой;
 - в) «а» и «б»;
 - г) ни «а», ни «б».
60. Опыт показывает, что работа в условиях постоянной переадаптации к яркостям, различающимся примерно в 10 раз, вызывает:
- а) повышение чувствительности контроля;
 - б) повышение разрешающей способности зрения человека;
 - в) чувство дискомфорта в последние часы работы контролера;
 - г) чувство дискомфорта в первые часы работы.
61. Верньерная острота зрения человека (например, совмещение стрелки с отметкой шкалы) ... обычной остроте зрения:
- а) равна;
 - б) больше;
 - в) меньше;
 - г) «а» и «в».
62. Применение очень точных измерительных средств иногда невыгодно из-за:
- а) большой стоимости;
 - б) трудоемкости измерений;
 - в) «а» и «б»;
 - г) ни «а», ни «б».
63. К основным показателям измерительных средств не относится:
- а) цена деления шкалы;
 - б) масса;
 - в) пределы измерений;
 - г) измерительное усилие.
63. Ценой деления шкалы измерительного средства называется:
- а) расстояние между двумя соседними отметками шкалы;
 - б) разность значений величины, соответствующих двум соседним отметкам шкалы;

- в) наименьший размер, который можно измерить данным;
 - г) ни одно из перечисленных выше.
65. Интервал деления шкалы ИС — это:
- а) расстояние между двумя соседними отметками шкалы;
 - б) разность значений величины, соответствующих двум соседним отметкам шкалы;
 - в) наименьший размер, который можно измерить данным;
 - г) ни одно из перечисленных выше.
66. Метод измерения — это:
- а) измерительное средство (ИС);
 - б) приемы использования ИС;
 - в) «а» и «б»;
 - г) ни «а», ни «б».
67. основополагающими стандартами государственной системы измерений не регламентируются:
- а) термины и определения из области метрологии;
 - б) квалификация лиц, производящих измерения;
 - в) методики выполнения измерений;
 - г) поверочные схемы.
68. Система СИ содержит ... основных единиц.
- а) 5;
 - б) 6;
 - в) 7;
 - г) 10.
69. При многократных измерениях погрешность от стандартных ошибок уменьшается в ... раз, где n — число измерений.
- а) n ;
 - б) $1/n$.
70. Штангенрейсмасы предназначены для измерения:
- а) наружных и внутренних размеров;
 - б) глубин;
 - в) размеров по высоте деталей и для разметки;
 - г) «а» и «б».
71. При выборе измерительных средств для контроля изделий учитывают ... показатели:
- а) метрологические;
 - б) эксплуатационные;

- в) экономические;
 - г) все перечисленное выше.
72. Элементарная частица оптического излучения называется:
- а) электроном;
 - б) фотоном;
 - в) гамма-квантом;
 - г) фононом.
73. Корпускулярные свойства фотона определяются его:
- а) частотой;
 - б) массой;
 - в) импульсом;
 - г) «б» и «в».
74. Высота неровности профиля по 10 точкам R_z нормируется в диапазоне:
- а) 0,025...1600,0 мкм;
 - б) 0,008...100,0 мкм;
 - в) 0,002...12,5 мкм.
75. Среднее арифметическое отклонение профиля R_a нормируется в диапазоне:
- а) 0,025...1600,0 мкм;
 - б) 0,008...100,0 мкм;
 - в) 0,002...12,5 мкм.
76. К бесконтактным средствам измерения шероховатости относятся:
- а) визуальное сравнение с эталоном шероховатости;
 - б) двойной микроскоп;
 - в) микроинтерферометр;
 - г) все перечисленное.
77. Контраст K определяется по формуле (B_o – яркость объекта, B_ϕ – яркость фона):
- а) $K = (B_o - B_\phi) / B_o$;
 - б) $K = (B_o - B_\phi) / (B_o + B_\phi)$;
 - в) $K = 2 * (B_o - B_\phi) / (B_o + B_\phi)$.
78. Эффективность применения ВИК зависит от:
- а) правильности выбора положения ОК;
 - б) правильности выбора спектральных и светотехнических характеристик освещения;
 - в) норм оценки качества согласно требованиям НТД;
 - г) «а» и «б»;
 - д) ни «а», ни «б».

79. Единство точности измерения у однотипных приборов и инструментов достигается:
- а) поверкой всех приборов и мер после их изготовления;
 - б) поверкой всех приборов и мер после их ремонта;
 - в) периодической поверкой всех приборов и мер во время их использования;
 - г) все перечисленное выше.
80. Поверка средства измерения – это:
- а) проверка после изготовления и ремонта;
 - б) экспериментальное определение погрешности средства измерения;
 - в) экспериментальное определение погрешности средства измерения, установление его пригодности к использованию.

**Требования по минимальному количеству вопросов
на экзаменах**

Таблица 1

Минимальное требуемое количество вопросов общего экзамена

Вид (метод) НК	Общее количество вопросов в сборнике не менее	Уровень I	Уровень II	Уровень III
УК	> 80	40	40	40
АЭ	> 80	40	40	40
РК	> 80	40	40	40
МК	> 80	40	40	40
ВК	> 80	40	40	40
ПВК	> 60	30	30	30
ПВТ	> 60	30	30	30
ВИК	> 60	30	30	40
ВД	> 80	40	40	40
ЭК	> 60	30	30	30
ТК	> 80	40	40	40
Другие методы	> 80	30	30	30

Таблица 2

*Требования по минимальному количеству вопросов
на специальном экзамене, экзамене на знание правил безопасности*

Метод экзамен	Общее количество вопросов в сборнике не менее	Уровень I	Уровень II	Уровень III
УК	> 60	20	20	20
АЭ	> 60	20	20	20
РК	> 60	20	20	20
МК	> 60	20	15	20
ВК	> 60	20	20	20
ПВК	> 60	20	15	20
ПВТ	> 60	20	20	20
ВИК	> 60	20	15	20
ВД	> 60	20	20	20
ЭК	> 60	20	15	20
Другие методы	> 60	20	20	20
Экзамен на знание ПБ	> 50 по каждому правилу	10 вопросов или по билетам с 5 вопросами		

Таблица 3

*Требования по минимальному количеству вопросов базового экзамена
на III квалификационный уровень*

Часть	Базовый экзамен	Количество вопросов
А	Технология и материаловедение. Технологические и конструктивные дефекты технических устройств и их связь с процессами, приводящими к отказам	25
Б	Система аттестации и определение уровня квалификации специалистов	10
В	Общие знания методов неразрушающего контроля в объеме требований для специалиста II уровня квалификации. Один из методов должен быть ультразвуковым или радиационным	15 для каждого метода контроля. Всего 60

**Структурная схема балльной оценки деятельности
специалиста III уровня квалификации
при продлении срока действия удостоверения**

Для продления срока действия удостоверения специалист представляет в Независимый орган по аттестации персонала сведения в соответствии с таблицей настоящего приложения с перечислением работ по каждому пункту. На основании этих сведений аттестуемый определяет количество баллов по каждому виду деятельности, вносит соответствующее количество баллов в 5-й столбец таблицы и затем подсчитывается общее количество баллов.

При соответствии аттестуемого прочим требованиям для продления срока действия удостоверения достаточно набрать 50 баллов.

№	Вид деятельности	Начисляемые баллы по каждому виду деятельности		Оценка	
		за каждую единицу	суммарно за 5 лет, не более	специалиста	эксперта
1.	Участие в семинарах, симпозиумах, конференциях, рабочих группах		10		
1.1.	Международные мероприятия:				
	• участие	0,2	1,0		
	• участие с докладом и публикацией	0,4	2,0		
1.2.	Национальные мероприятия:				
	• участие	0,1	1,0		
	• участие с докладом и публикацией	0,2	2,0		
1.3.	Участие в заседаниях международных и национальных комиссий и рабочих групп по неразрушающему контролю	0,4	2,0		
	Председательствование в комиссиях и рабочих группах	1,0	2,0		
2.1.	• монографии, учебники, справочники, учебные пособия	2,0*	6,0*		

№	Вид деятельности	Начисляемые баллы по каждому виду деятельности		Оценка	
		за каждую единицу	суммарно за 5 лет, не более	специалиста	эксперта
2.2.	Статьи, опубликованные научные работы:				
	• имеющие непосредственное отношение к практической дефектоскопии	0,6	3,0*		
	• связанные с вопросами дефектоскопии	0,2	1,0		
3.	Учебная и аттестационная деятельность		20,0		
3.1.	Обучение и подготовка по методам неразрушающего контроля	0,05 за час	5,0		
3.2.	Участие в экзаменационных комиссиях в качестве экзаменатора	0,1 за каждый экзамен	5,0		
3.3.	Руководство экзаменационными центрами и Независимыми органами по аттестации персонала НК	2,0 за год	10,0		
4.	Научно-исследовательская деятельность		30,0		
4.1.	Участие в научно-исследовательских работах	2,0	8,0		
4.2.	Участие в разработках средств неразрушающего контроля	2,0	8,0		
4.3.	Разработка нормативно-технической документации по неразрушающему контролю	2,0	8,0		
4.4.	Работы по развитию применения методов неразрушающего контроля		6,0		
5.	Производственная деятельность		30,0		
5.1.	Разработка и согласование производственно-технологических документов по НК (методические указания, технологические инструкции, карты контроля и т. д.)	2,0	10,0		
5.2.	Практическое выполнение неразрушающего контроля материалов и изделий (указать)	2,0	10,0		

№	Вид деятельности	Начисляемые баллы по каждому виду деятельности		Оценка	
		за каждую единицу	суммарно за 5 лет, не более	специалиста	эксперта
5.3	Организационная деятельность по управлению подразделением НК, полная ответственность за метод НК	1,2	6,0		
5.4.	Обсуждение рекламации с клиентом	1,0	4,0		
6.	Другие виды деятельности		10,0		
6.1.	• по усмотрению аттестуемого				
6.2.	• по усмотрению Независимого органа				

* При наличии более одного автора очки распределяются между соавторами.

Специалист III уровня
квалификации

_____ /

Руководитель
Независимого органа

_____ /

Дата

Дата

Международные и европейские стандарты в визуальном контроле

На рис. 115 представлена схема взаимосвязанных базовых евро-стандартов по визуальному контролю сварных конструкций из металлических материалов – стандарт EN 25817–92. Он создан на базе международного стандарта ISO 5817–92 «Соединения стальные, выполненные дуговой сваркой – руководство по оценкам уровней качества по дефектоскопии» и предназначен для использования в качестве справочного материала при проведении неразрушающего контроля (НК). Три уровня качества сварных соединений, обозначенные как D – низкий, C – средний и B – высокий, определяемые этим стандартом, предназначены только для выработки базовых справочных данных и не связаны с какими-либо конкретными приложениями. Хотя эти уровни потенциально могут описать большую часть практических приложений, они относятся только к различным видам сварных соединений, а не к законченным изделиям или компонентам. Следовательно, возможно применение различных уровней качества к отдельным сварным соединениям в одном и том же изделии или компоненте.

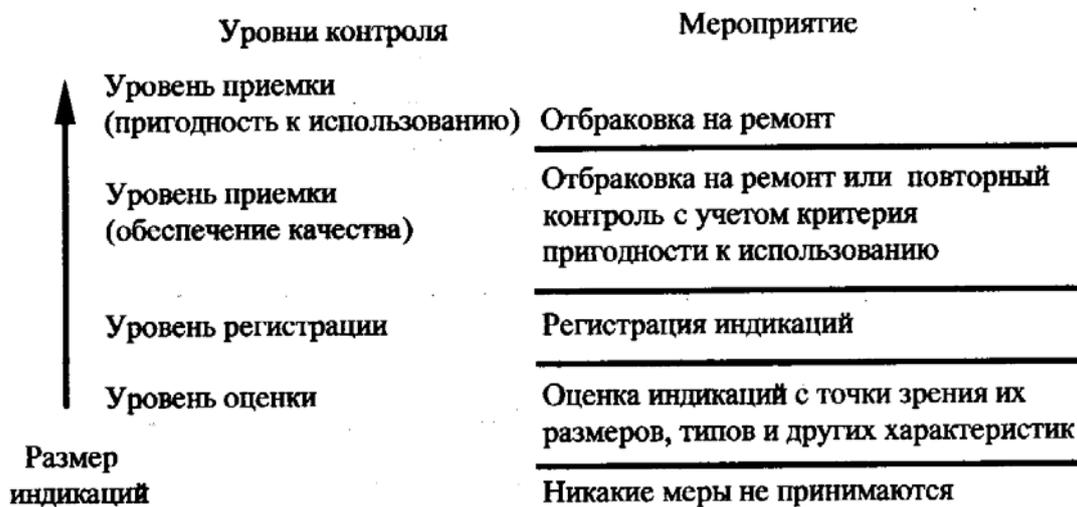


Рис. 115. Схема взаимосвязанных базовых евростандартов по визуальному контролю сварных конструкций из металлических материалов

Этот стандарт определяет критерии уровней качества стальных сварных соединений в диапазоне толщин 3...63 мм, но он может быть легко применен и к более толстым сварным соединениям при условии учета

технических факторов, влияющих на качество сварных соединений.

Основное содержание стандарта представлено в виде таблицы, которая имеет шесть вертикальных колонок, снабженных заголовками: 1 (боквик) — название дефектов; 2 — обозначение дефектов по ISO-6520; 3 — примечание; 4, 5, 6 — соответственно требования по уровням D, C и B с общим заголовком: «Ограничение параметров дефектов для различных уровней качества». В колонке 3 кроме текстового материала даются схематические изображения дефектов по сечению соединения.

В стандарте EN 12062–97 на основе предварительных данных о качестве, материале, виде сварки, толщине сварных швов и объеме контроля содержатся указания по выбору вида НК и оценке его результатов с точки зрения качества. Стандарт определяет также общие правила и нормы, применяемые при различных видах контроля как с точки зрения методологии, так и уровней приемки. Уровни приемки не являются прямой интерпретацией уровней качества, определенных в стандартах EN 25817 или EN 30042, так как они связаны с общим качеством изготовленных сварных соединений.

Однако указания стандарта относительно уровней приемки при НК скорректированы с уровнями качеств, определенными в стандартах EN 25817 и EN 30042 (низкий, средний, высокий), только в общем виде, а не конкретно для каждой индикации дефекта.

Ниже перечислены несколько терминов, которые используются в EN 12062.

Уровень контроля — степень точности и выбор параметров, по которым осуществляется контроль. Различные уровни соответствуют различной чувствительности НК и (или) возможностям обнаружения дефектов. Выбор уровня контроля обычно связан с требованиями к качеству.

Уровень оценки — уровень контроля, исходя из которого должна быть оценена индикация дефекта (рис. 116).

Уровень регистрации — уровень контроля, исходя из которого индикация должна быть зарегистрирована (рис. 116).

Уровень приемки — уровень контроля, нижняя граница которого связана с допустимыми в ОК несплошностями, изъянами и т. п.

Индикация — изображение или сигнал о несплошности в форме, доступной при использовании какого-либо метода НК.

Уровень качества — установленные пределы для дефектов, соответствующие ожидаемому качеству сварных конструкций. Пределы определяются в зависимости от типов дефектов, их количества и их реальных размеров.



Рис. 116

Основной материал стандарта представлен в виде системы таблиц. Благодаря такому построению этих норм специалисту легче изучать и анализировать приводимые в таблицах данные, сопоставляя их как по горизонталям, так и по вертикалям.

В этом стандарте используются специальные сокращения: вихре-токовый контроль (ЕТ); магнитопорошковый контроль (МТ); капиллярный контроль (РТ); радиографический контроль (РТ); ультразвуковой контроль (УТ); визуальный контроль (VТ).

Основное содержание указанного выше табличного материала представлено в табл. 27.

Виды НК, как правило, используются для выявления поверхностных дефектов на всех типах сварных конструкций, включая условные соединения.

Таблица 27

Материалы	Вид контроля
Ферромагнитная сталь	VT УТ и МТ VThPT VT и (ET)*
Аустенитная сталь, алюминий, никель, медь и титан	VT VThPT VThET

Стандарт EN 970 относится к визуальному контролю сварных соединений, полученных сваркой плавлением металлических материалов.

EN 970 требует, чтобы освещенность контролируемой поверхности была не менее 350 лк, рекомендуемая освещенность – 500 лк. Подлежащая контролю поверхность должна рассматриваться под углом более чем 30° к плоскости этой поверхности и с расстояния до 600 мм.

По этому стандарту визуальный контроль может выполняться:

- при подготовке к сварке;
- во время сварки;
- на готовом сварном соединении;
- на отремонтированном сварном соединении.

В приложениях к стандарту в виде таблицы даются схематические изображения некоторых шаблонов для измерения сварных швов и основные характеристики шаблонов.

Проекты новых европейских стандартов – визуальный контроль (оборудование – prEN 13927 (в процессе обсуждения)) и визуальный контроль (Терминология – prEN 1330 часть 10 (в процессе обсуждения)) – разрабатываются рабочей группой Технического комитета ТС 138 CEN и предлагаются для гармонизации работ по визуальному контролю в Европе.

Стандарт EN 13018 (Визуальный контроль – Общие принципы) достаточно большой по объему и является общим стандартом и не относится конкретно ни к какому изделию. Его содержание:

- область применения;
- ссылки на нормативные документы;
- определения;
- документация до контроля;
- непосредственный визуальный контроль;
- косвенный визуальный контроль;
- персонал;

- оценка;
- документация после контроля.

Из-за разнообразия различных определений визуального контроля в Европе было очень трудно установить понятную всем классификацию, объясняющую основные методы, используемые в визуальном контроле. Для упрощения были установлены два определения для различения непосредственного (прямого) и косвенного (непрямого) визуального контроля.

Непосредственный визуальный контроль – это контроль, при котором имеется беспрепятственный оптический путь от контролируемой области к глазу наблюдателя. Контроль выполняется либо невооруженным глазом, либо с помощью, например зеркала, эндоскопа или волоконной оптики.

Косвенный визуальный контроль – это контроль, при котором оптический путь от контролируемой области до глаза наблюдателя прерывается. При косвенном контроле могут использоваться фотографии, видеосистемы и т. п.

Раздел 4 стандарта касается составления обязательных письменных инструкций на контроль, а если требуется по стандарту на изделие или по контракту, то и использование письменных процедур.

Письменные инструкция или процедура должны, как минимум, содержать следующую информацию:

- наименование контролируемого объекта, его размещение и перечисление по возможности большого количества деталей;
- объем контроля;
- метод и последовательность проведения контроля;
- состояние поверхности;
- подготовка поверхности;
- требования к персоналу;
- критерии приемки;
- освещение (тип, уровень и направление);
- оборудование визуального контроля, которое должно использоваться;
- документация после контроля, которая будет использоваться.

Персонал, выполняющий контроль должен соответствовать стандарту EN 473 при условии проведения проверки дальше го зрения в соответствии с ISO 8596 – Офтальмологическая оптика – Проверка остроты зрения – Стандартный оптотип и его представление для остроты зрения 0,63.

Острота зрения степени 0,63 определяется кольцом Ландольта, наружный диаметр которого стягивает угол в 8', и ширина которого, а также разрыв в нем стягивают угол в 1,6' на определенном расстоянии наблюдения.

Стандарт EN 12454–98 – Литье – Визуальный контроль поверхностных несплошностей – Стальные отливки в песчаную форму.

В стандарте отмечается, что при контроле отливок следует учитывать два фактора:

- шероховатость поверхности;
- поверхностные несплошности.

Стандарт EN 1370 рассматривает контроль шероховатости поверхности.

Оценка отливок контролером поверхности производится методом ее визуального сравнения с набором образцов, содержащих отпечатки реальных несплошностей.

Рассматриваемый стандарт определяет несколько типов несплошностей и уровней важности для каждого типа.

Выбранные компоненты образцов для сравнения и количество уровней важности таковы:

- поверхностные включения – неметаллический материал, захваченный, на поверхности отливки (4 уровня важности);
- газовая пористость – индикации газа на поверхности отливки (4 уровня важности).

Один набор SCRATA образцов для сравнения содержит отпечатки в виде плат (150×100 мм каждая) и соответствующие фотографии.

- закаты и холодные спаи – поверхностные неровности, имеющие вид складок (4 уровня важности);
- рванины – слегка приподнятые поверхностные неровности (2 уровня важности);
- включения – индикации жеребеек или внутренних отбелов (2 уровня важности);
- сварные швы – индикации сварных швов без обработки, полностью или частично удаленные зачисткой (4 уровня важности).

Уровень важности несплошностей, которые должны быть выявлены визуально, сильно зависит от шероховатости поверхности, на которой они появляются.

Для оценки поверхностей отливки контролируемые области должны визуально сравниваться без вспомогательных оптических средств с соответствующими образцами для сравнения по категории и уровню важности.

Сравнение поверхности отливки с образцом для сравнения должно производиться при расположении образца для сравнения рядом с отливкой при хороших условиях освещения, например, минимум 300 лк.

Контроль должен выполняться обученным персоналом с удовлетворительной остротой зрения.

Если в любой контролируемой области имеются две или более несплошности, то каждая несплошность должна оцениваться в соответствии с ее уравнением важности.

Оценка считается удовлетворительной, если на требуемой области она равна или лучше, чем оценка данного эталонного образца для сравнения.

По требованию покупателя изготовитель обязан вести запись результатов контроля и представить отчет.

Обозначение отливки должно позволять идентифицировать изделие с соответствующим документом контроля.

Записи, подшитые изготовителем при контроле, должны содержать, по меньшей мере, следующее:

- идентификацию отливки;
- имя и квалификацию лица, выполнявшего контроль;
- выявленную категорию несплошности и установленный уровень важности для каждой проконтролированной области.

Таблица 28

*Соотношение между уровнями важности
и выбранными несплошностями*

Несплошности	Уровни важности			
	1	2	3	4
	Идентификация в соответствии с набором SCRATA			
Поверхностные включения	B1	B2	B3	B4
Газовая пористость	C1	C2	C3	C4
Закаты и холодные спаи	D1	D1	D2	D5
Рванины	J1	J2	E3	E5
Включения			F1	F3
Сварные швы			J3	J5

Примечание. Требуемый уровень важности может быть различным для каждой категории.

Европейский стандарт EN 970

февраль 1997

ICS 25.160.40

Ключевые слова: сварка, сварка плавлением, сварные соединения, металл, визуальный контроль, сварной шов, дефекты сварного шва.

Немецкая версия.

Неразрушающий контроль сварных швов, выполненных плавлением.
Визуальный контроль.

Этот Европейский стандарт был принят Европейским комитетом по стандартизации 1996-12-12.

Члены Европейского комитета по стандартизации обязаны выполнять правила делового сотрудничества CEN/CENELEC, устанавливающие условия, при которых данный Европейский стандарт должен получать статус национального стандарта без каких-либо изменений. Материалы национального стандарта с их библиографическими данными должны быть предоставлены центральному секретариату или любому члену Европейского комитета по стандартизации по запросу. Этот Европейский стандарт имеет три официальные версии (немецкую, английскую и французскую). Версия на каком-либо языке, которую на свою ответственность перевел член Европейского комитета по стандартизации на свой язык и представил в Центральный секретариат имеет тот же статус, что и официальные версии.

Членами Европейского комитета по стандартизации являются национальные институты по стандартизации Бельгии, Дании, Германии, Финляндии, Франции, Греции, Ирландии, Исландии, Италии, Люксембурга, Нидерландов, Норвегии, Австрии, Португалии, Швеции, Швейцарии, Испании и Великобритании.

CEN

ЕВРОПЕЙСКИЙ КОМИТЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ

Центральный секретариат: rue de Stassart 36, B-1050, Brussel

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	281
1. Область применения	281
2. Ссылки на нормативные документы	281
3. Условия контроля и приборы контроля	282
4. Персонал	283
5. Визуальный контроль. Общее	283
6. Визуальный контроль при подготовке к сварке	283
7. Визуальный контроль во время сварки	284
8. Визуальный контроль готового сварного шва	284
9. Визуальный контроль отремонтированного сварного шва	286
10. Отчет о контроле	286
Приложение А. Примеры приборов контроля	288

Предисловие

Данный Европейский стандарт был разработан Техническим комитетом CEN/TC «Сварка».

Данный Европейский стандарт может получить статус национального стандарта там, где будет опубликован идентичный текст или его признанием до августа 1997 г., а соответствующие прежние национальные стандарты должны быть до августа 1997 г. отменены.

Данный стандарт был разработан по манданту, который Комиссия Европейского сообщества и Секретариат Европейской зоны свободной торговли выдали Европейскому комитету по стандартизации. Стандарт удовлетворяет руководящим указаниям Европейского сообщества.

Стандарт по общим основам визуального контроля разрабатывался Техническим комитетом Европейского комитета по стандартизации.

В соответствии с правилами делового сотрудничества данный Европейский стандарт должен быть принят национальными институтами стандартизации следующих стран: Бельгия, Дания, Германия, Финляндия, Греция, Ирландия, Италия, Люксембург, Нидерланды, Норвегия, Австрия, Португалия, Швеция, Швейцария, Испания и Великобритания.

1. Область применения

Данный Европейский стандарт относится к визуальному контролю швов, полученных сваркой плавлением металлических материалов. Контроль проводится обычно тотчас же после выполнения задания по сварке. В порядке исключения, однако, контроль может выполняться в другой период сварочного процесса, например если это требуется в соответствии с применяемым стандартом или по соглашению между договорными сторонами.

2. Ссылки на нормативные документы

В этом Европейском стандарте содержатся определения с датированными или недатированными ссылками на другие публикации. Эти ссылки приводятся в соответствующих местах текста, а публикации затем указываются. В случае датированных ссылок к этому Европейскому стандарту относятся и более поздние изменения или переработки этих публикаций, если они использовались в данном стандарте. В случае недатированных ссылок имеется в виду последнее издание публикации.

EN 288-2

Требование и подтверждение пригодности метода сварки металлического материала. – Часть 2. Указания по электродуговой сварке.

EN 473

Квалификация и сертификация персонала неразрушающего контроля. – Общие положения.

prEN 12062

Неразрушающий контроль сварных швов. – Общие правила.

EN 30042

Соединения, выполненные электродуговой сваркой на алюминии и его сплавах, пригодных для сварки. – Руководящие указания для групп оценки несплошностей (ISO 10042:1992).

ISO 3599:1976

Нониусные штангенциркули с отсчетом до 0,1 и 0,05 мм.

3. Условия контроля и приборы контроля

Освещенность контролируемой поверхности должна быть не менее 350 лк; рекомендуется освещенность 500 лк. Для выполнения непосредственного контроля необходим достаточный обзор глаз контролера. Подлежащая контролю наружная поверхность должна рассматриваться под углом более чем 30° к плоскости объекта контроля и с расстояния до 600 мм (рис. 1).

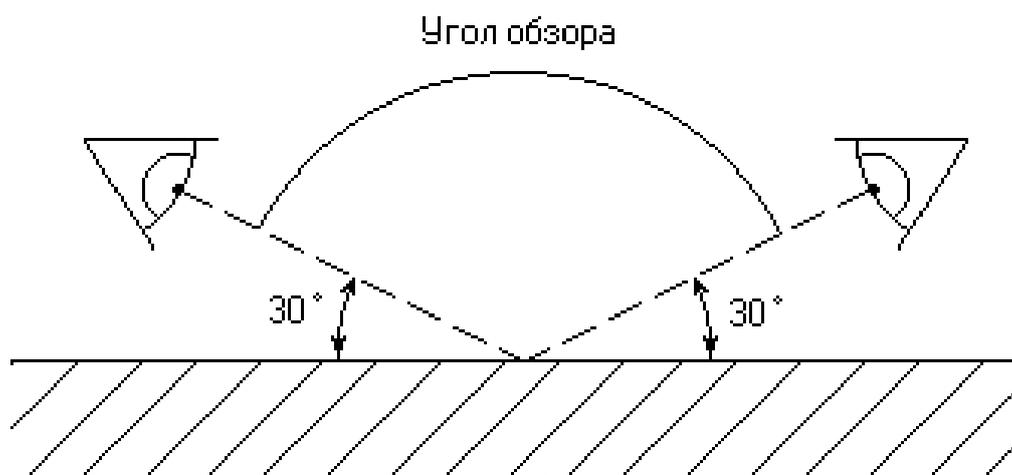


Рис. 1. Условия контроля

Если при контроле с больших расстояний используются бороскопы, стекловолоконные световоды или камеры, то они должны удовлетворять дополнительным требованиям, определяемым применяемым стандартом или соглашением между договорными сторонами.

Для создания хорошего контраста изображения дефекта с фоном и его уверенного обнаружения при необходимости применяют дополнительный источник света.

Для обнаружения дефекта на контролируемой поверхности в сомнительных случаях визуальный контроль необходимо дополнить выполнением других методов неразрушающего контроля.

Примеры приборов для выполнения контроля приведены в приложении А.

4. Персонал

Персонал, который выполняет контроль по данному Европейскому стандарту, должен:

- а) быть знаком с соответствующими стандартами, правилами и предписаниями;
- б) быть информирован о применяемом методе сварки;
- в) в соответствии с требованиями ЕМ 473 обладать хорошим зрением, которое должно проверяться каждые 12 месяцев.

5. Визуальный контроль. Общее

Объем контроля заранее должен быть установлен в применяемом стандарте или соглашении между договорными сторонами.

Контролеру должны быть доступны необходимые документы по контролю и производству.

Сварные швы должны контролироваться непосредственно после сварки, если это позволяют физические условия.

6. Визуальный контроль при подготовке к сварке

Если перед сваркой требуется визуальный контроль, то необходимо проверить, что:

- а) подготовка сварного шва выполнена с соблюдением стандарта EN 288-2;
- б) стыкующиеся боковые поверхности и граничащие наружные поверхности шва очищены;
- в) свариваемые детали шва в соответствии с чертежами или техническими указаниями стыкуются друг с другом.

7. Визуальный контроль во время сварки

При выполнении сварного соединения, которое впоследствии будет контролироваться, следует проверить:

- а) что каждый наплавной валик или каждый слой материала шва очищается прежде, чем на них накладывается следующий слой. Особое внимание следует уделять сплавлению материала шва с фасками шва;
- б) отсутствуют видимые несплошности, например, трещины или раковины. Если они обнаруживаются, то об этом необходимо сообщать для того, чтобы были приняты меры по исправлению положения перед продолжением сварки;
- в) произведено действительное наплавление шва на основной материал для продолжения сварки;
- г) глубина и форма подготовки кромок соответствовали техническим условиям на выполнение сварки или были сравнимыми с ранее выполненными формами кромок для того, чтобы обеспечить установленные условия полного заполнения шва.

8. Визуальный контроль готового сварного шва

Общее

На готовом сварном шве необходимо проконтролировать и протоконтролировать, выполняются ли заранее оговоренные стандарты, например, EN 25817, EN 30042 или ргEN 12062. Проверить указание в п. 8.2–8.5 условия, если они особо не оговорены в требованиях стандарта или в соглашении между договорными сторонами.

Очистка и последующая обработка

Необходимо убедиться в том, что на контролируемом сварном шве:

- а) вручную или механическим способом удален шлак. Нельзя допускать, чтобы при этом маскировались дефекты;
- б) не остались следы воздействия инструмента или царапины от шлака;
- в) при шлифовке не было перегрева, не осталось углублений и неровностей;
- г) угловые и стыковые соединения с основным материалом выполнены плавным переходом к основному металлу без превышения допусков.

Форма и размеры

Необходимо убедиться в том, что:

- а) форма наружной поверхности шва и величина выпуклости шва соответствует стандарту (см. п. 8.1);
- б) наружная поверхность сварного шва имеет однородную форму;
- в) расстояние между плоскостью, проходящей через видимые границы сварного шва с основным металлом, и поверхностью сварного шва, а также положением наплавленного валика, если это требуется по техническим условиям на выполнение сварки, должны быть измерены;
- г) ширина шва по всей его длине должна быть одинаковой и при этом соответствовать чертежу шва или стандарту (см. п. 8.1). На сварных швах встык необходимо проконтролировать, чтобы разделка шва была полностью заполнена.

Корень и наружная поверхность облицовочного слоя сварного шва

Необходимо проконтролировать, что доступные визуальному контролю части сварного шва, т. е. сторона корня при одностороннем сварном шве и поверхность облицовочного слоя сварного шва по отклонениям размеров соответствует стандарту (см. п. 8.1).

На контролируемом сварном шве необходимо убедиться, что:

- а) на односторонних сварных швах проплавление встык, утяжины в корне шва, прожоги и раковины по всей длине сварного шва не выходят из заданных стандартом границ;
- б) любые неровности из-за проплавления не выходят из допустимых норм;
- в) любые дефекты на наружной поверхности шва или в зоне термического влияния, такие как трещины или пористость, соответствуют критериям приемки. В случае необходимости должны использоваться вспомогательные оптические средства;
- г) любые дополнительные детали, которые временно были наварены на свариваемую конструкцию с целью изготовления или для обеспечения взаимного положения деталей и которые больше не нужны, должны быть удалены так, чтобы свариваемая деталь не была повреждена. Следует проконтролировать область, где была наварена дополнительная деталь, на предмет отсутствия трещин.

Последующая термическая обработка

После термической обработки может потребоваться дополнительный контроль.

9. Визуальный контроль отремонтированного сварного шва

9.1. Общее

Если сварные швы не удовлетворяют или частично удовлетворяют требованиям, по которым производится приемка, и необходим ремонт шва, то после ремонта нужно провести контроль, как указано в п. 9.2 и 9.3.

9.2. Частично зачищенный сварной шов

Следует проверить, что зачистка выполнена до достаточной глубины и длины шва, чтобы удалить все несплошности. Следует также убедиться, что от основания зачистки до наружной поверхности шва, а также на концах имеются одинаковые скосы.

Ширина и форма зачистки должны быть такими, чтобы оставалось достаточно места для последующей ремонтной сварки.

9.3. Полностью зачищенный сварной шов

При зачистке бездефектного участка сварного шва не может быть серьезных потерь основного материала. Выбранный участок с дефектом шва необходимо заварить. При этом необходимо проконтролировать, чтобы форма и масштаб подготовки к выполнению заварки удовлетворяли установленным требованиям.

9.4. Контроль

Как указано в п. 8, каждый отремонтированный сварной шов должен удовлетворять требованиям, предъявляемым к первоначальному сварному шву.

10. Отчет о контроле

Составлять отчет о контроле требуется не всегда. Однако, если определено документально, что отчет о контроле должен составляться, то все соответствующие данные о визуальном контроле на каждом этапе должны представляться. В нижеследующем списке перечисляется информация, которая должна содержаться в подобном отчете:

- а) фамилия изготовителя сваренной детали;
- б) обозначение места контроля;
- в) обозначение контролируемой детали;
- г) материал;
- е) вид сварного шва;
- д) толщина материала;
- ж) процесс сварки;

- з) признаки, по которым производилась приемка;
- и) несплошности, превосходящие допустимые границы, и их положение;
- к) объем контроля с учетом соответствующего чертежа;
- л) использованные приборы контроля;
- м) результаты контроля с учетом признаков, по которым производилась приемка;
- н) фамилия контролера и дата контроля.

Сварные швы, прошедшие контроль и признанные годными, должны быть, если это требуется, промаркированы соответствующим образом или описаны.

Если требуется отчет о визуальном контроле, подтвержденный документально, то должны быть приложены фотографии или точные эскизы с, безусловно, распознанными несплошностями.

Примеры приборов контроля

Используемые приборы для выполнения измерений могут быть выбраны из следующего списка:

- а) измерительная линейка или измерительная рулетка с делениями 1 мм и менее;
- б) штангенциркуль по 180 3599;
- в) толщиномер с достаточным набором щупов для измерения размера от 0,1 до 3 мм ступенями не более 0,1 мм;
- г) радиусный шаблон;
- д) лупа с увеличением от 2^x до 5^x , причем лупа должна иметь мерные деления (см. 1503058).

Иногда может требоваться следующее оборудование:

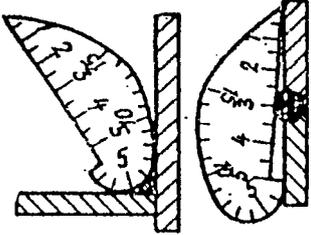
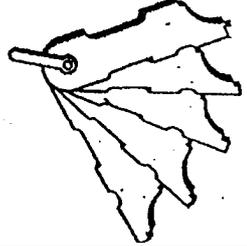
- 1) профилометр с проволочным измерителем диаметра или ширины ≤ 1 мм; оба конца проволоки должны быть закруглены;
- 2) материал для получения отпечатка сварного шва, например твердеющий при остывании искусственный или тестообразный материал;
- 3) для контроля сварных швов при ограниченном доступе могут использоваться зеркала, эндоскопы, бороскопы, световоды или телевизионные камеры;
- 4) какие-либо другие измерительные приборы по соглашению между договорными сторонами специально сконструированные шаблоны для сварного шва, шаблоны высоты или глубины, линейки или угломеры.

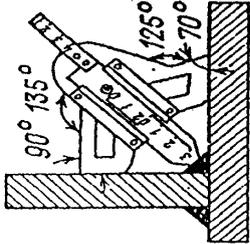
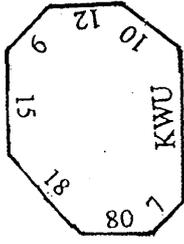
Типичные измерительные приборы и шаблоны, показаны в табл. А. 1.

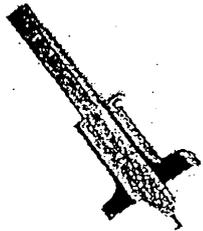
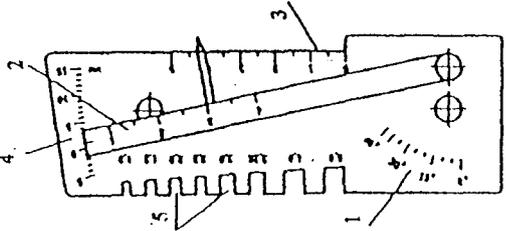
Примечание: эти приборы и шаблоны приведены только в качестве примеров. Некоторые из них могут быть зарегистрированы в качестве рабочих инструментов.

Таблица А.1

Характеристики измерительных приборов

Шаблоны сварного шва	Описание	Вид сварного шва				Диапазон измерений, мм	Точность отсчета, мм	Угол между свариваемыми элементами, град	Допустимое отклонение угла между свариваемыми элементами
		Угловой шов		Стыковой шов					
		Нормальный шов	Вогнутый шов	Выпуклый шов	Шов				
	<p>Простой шаблон сварного шва.</p> <p>А) Измерение угловых швов толщиной от 3 до 15 мм. Шаблон применяется на криволинейных участках и при этом должен обеспечиваться контакт в 3 точках между участком шва и шаблоном.</p> <p>Б) Измерение превышения выпуклости стыкового шва с помощью прямоугольной части шаблона.</p> <p>Поскольку шаблон может быть изготовлен из относительно мягкого алюминия, то он быстро изнашивается</p>	X	X	–	X	3–15	0,5	90	Небольшое
	<p>Набор шаблонов для сварного шва.</p> <p>Измерение сварных швов толщиной от 3 до 12 мм; при толщинах от 3 до 7 мм с шагом 0,5 мм; далее измеряется толщина 8, 10 и 12 мм. Шаблон действует по принципу соприкосновения в трех точках</p>	X	X	–	–	3–12	Зависит от набора	90	Не предусмотрено

Шаблоны сварного шва	Описание	Вид сварного шва				Диапазон измерений, мм	Точность отсчета, мм	Угол между свариваемыми элементами, град	Допустимое отклонение угла между свариваемыми элементами
		Угловой шов							
		Нормальный шов	Вогнутый шов	Выпуклый шов	Стыковой шов				
	<p>Шаблон для сварного шва с нониусом. Измерение, например катетов угловых швов; можно измерять превышение выпуклости стыкового шва. Губки шаблона могут иметь такую конструкцию, которая позволяет контролировать углы разделки кромок V-образных и Y-образных швов в 60, 70, 80 и 90°. Но небольшие отклонения этих величин приведут к большим погрешностям</p>	X	X	—	X	0–20	0,1	90	Не предусмотрено
	<p>Шаблон собственного изготовления. Измерение 7 параметров углового шва при угле 90° между его элементами.</p>	X	—	—	—	0–20	0,2	90	Не предусмотрено
	<p>Измеритель зазора в соединении</p>				X	0–6	0,1		

Шаблоны сварного шва	Описание	Вид сварного шва				Диапазон измерений, мм	Точность отсчета, мм	Угол между свариваемыми элементами, град	Допустимое отклонение угла между свариваемыми элементами
		Нормальный шов	Вогнутый шов	Выпуклый шов	Стыковой шов				
	Крючковый штангенциркуль для измерения смещения наружных кромок. Измерение смещения при подготовке стыковых швов для сварки листов и труб	—	—	—	X	0—100	0,06	—	—
	Универсальный шаблон для контроля стыковых швов. Измерение подготовленных и законченных сварных стыковых швов: 1) угла скоса; 2) зазора в соединении; 3) ригупления кромок, ширины сварного шва; 4) смещения наружных кромок, выпуклости шва; 5) диаметр электродов	—	—	—	X	0—30	0,1	—	±25 %

ICNDT

«Международная организация неразрушающего контроля»

Международный комитет по неразрушающему контролю

**РАБОЧАЯ ГРУППА КООРДИНАЦИИ РАБОТЫ
ПО ОБУЧЕНИЮ И КВАЛИФИКАЦИИ ПЕРСОНАЛА
НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ**

Рекомендации ICNDT WH 24-00

**Требования к техническим знаниям персонала неразрушающего контроля
(Минимальные требования)
Визуальный контроль (VT)**

Документ подготовлен Немецким обществом
неразрушающего контроля (DGZfP), сентябрь 1999.
Принят ICNDT. Октябрь 2000

1. Требования к продолжительности подготовки (обучения) персонала неразрушающего контроля

Часть		Уровень I, %	Уровень II, %	Уровень III, %
1	Принципы визуального контроля	14	6	
2	Способы контроля	20	22	
3	Характеристики контроля и область его применения	12	10	
4	Визуальный контроль в процессе изготовления изделий	40	8	
5	Эксплуатационный визуальный контроль, техническое обслуживание	—	30	
6	Стандарты, процедуры, инструкции неразрушающего контроля	10	15	
7	Другие способы и методы неразрушающего контроля	—	5	
8	Безопасность и защита окружающей среды, квалификация и аттестация специалистов	4	4	
Всего		100	100	

2. Программа подготовки

Уровень I	Уровень II (дополнительно к программе I уровня)	Уровень III (дополнительно к программам I и II уровня)
1. Основы визуального контроля		
1.1. Введение. Область применения и цель визуального контроля	1.1. Обзор. Применения визуального контроля	1.1. Роль, важность и порядок проведения визуального контроля
1.2. Физические принципы. Свет, освещение. Оптические принципы. Отражение, отражательная способность	1.2. Спектр света, цвет. Освещенность, измерение. Направленное и рассеянное отражение, поглощение	1.2. Яркость, измерение. Контраст; факторы, влияющие на контраст. Геометрическая оптика. Дисторсия. Измерения
1.3. Физиологические факторы. Глаз, его строение, зрительные функции	1.3. Острота зрения, угол зрения, поле зрения	1.3. Характеристика зрения, проверка зрения

Уровень I	Уровень II (дополнительно к программе I уровня)	Уровень III (дополнительно к про- граммам I и II уровня)
2. Способы контроля		
Обращение с оборудованием контроля. Выполнение способов контроля в соответствии с инструкциями по контролю	Выбор способов, пригодных для решения конкретной задачи контроля и определение их области применения, конкретное применение и ограничения	Указание способов и очередности выполнения операций контроля. Подготовка к последующему контролю или исследованиям
2.1. Подготовка контролируемых поверхностей	2.1. Выбор подходящих методов подготовки контролируемых поверхностей	2.1. Рассмотрение характерных требований к состоянию поверхности
2.2. Установка надлежащего освещения и измерение освещенности	2.2. Выбор осветительных устройств и уровней освещенности	2.2. Определение требований по освещенности в особых случаях
2.3. Обеспечение предписанных условий наблюдения и процедур	2.3. Выбор условий наблюдения и способов выявления дефектов. Ослепляющий блеск	2.3. Указания об установке надлежащих условий наблюдения
2.4. Обращение с оборудованием: • датчики и измерительные приборы; • увеличители и микроскопы; • источники света, световоды, зеркала	2.4. Выбор и применение способов в соответствии с конкретной задачей контроля и определение контролируемой области. Определение параметров для обычных задач	2.4. Определение надлежащих методов, способов и параметров для решения характерных и специальных задач
2.5. Эндоскоп. Дистанционный визуальный контроль. Общие сведения	2.5. Эндоскопы	2.5. Указания о выборе оборудования контроля, процедур, проверках, отчетах и используемой документации
	2.5.1. Жесткие эндоскопы (бороскопы)	
	2.5.2. Гибкие эндоскопы (волоконные эндоскопы)	
	2.5.3. Видеоскопы. Видеотехнология. Выбор оборудования. Выполнение контроля. Методы оценки размера дефектов	

Уровень I	Уровень II (дополнительно к программе I уровня)	Уровень III (дополнительно к про- граммам I и II уровня)
3. Характеристики контроля и область его применения		
3.1. Обычный визуальный контроль – проверка общих условий. Первоначальные сведения о контролируемом изделии, например, его идентификация, установка	3.1. Составление соответствующих характеристик контроля и создание процедур для выявления дефектов	3.1. Оценка важности признаков выявляемых дефектов
3.2. Специальный визуальный контроль – контроль специальных параметров, требующий повышенного уровня освещенности и особого оборудования, например отклонений формы, текстуры поверхности, дефекты	3.2. Описание контролируемых параметров, условий контроля для их выявления, классификация, оценка и документирование	3.2. Значение контролируемых параметров и суждение о них с учетом пригодности изделия для выполнения задач, для которых оно предназначено
4. Применения I: Визуальный контроль в процессе изготовления изделия		
Возможные изделия: отливки, изделия, обработанные давлением, вальцованные изделия, тубы	Определение длительности и объема контроля	Углубленные знания применяемых материалов и системы управления качеством
4.1. Технология изготовления и материалы. Дефекты, их вид, места, где они встречаются	4.1. Углубленные знания контролируемых изделий. Распознавание индикаций. Составление проектов каталогов и дефектов	4.1. Знания и опыт работы с материалами и изделиями
4.2. Выполнения контроля по инструкции	4.2. Составление инструкций по контролю в соответствии с применяемыми стандартами	4.2. Подготовка письменных процедур, описание способов и условий контроля
4.3. Составление записей и классификация результатов в соответствии с письменными критериями. Составление отчета	4.3. Оценка дефектов в соответствии с регламентирующими документами и процедурами неразрушающего контроля	4.3. Помощь и советы при составлении проекта приемки

Уровень I	Уровень II (дополнительно к программе I уровня)	Уровень III (дополнительно к про- граммам I и II уровня)
5. Применения II: эксплуатационный визуальный контроль, техническое обслуживание		
	Возможные отрасли промышленности: нефтехимические и промышленные предприятия, турбины, авиация, железные дороги	Контроль сосудов и устройств, работающих под давлением, и их деталей в период эксплуатации
	5.1. Рабочие условия. Дефекты, возникающие при эксплуатации. Внешний вид поврежденных и поломок	5.1. Технология изготовления и вид дефектов. Статистика. Характерные дефекты при эксплуатации. Связь с заинтересованными сторонами
	5.2. Планирование и составление отчета о контроле, оценка результатов	5.2. При необходимости выдача указаний о выполнении особых способов контроля и дальнейших исследований. Создание и внедрение способов и процедур контроля
6. Стандарты	Инструкции по контролю	Процедуры неразрушающего контроля
Работа с применяемыми стандартами или инструкциями по контролю под наблюдением другого лица	Составление инструкций по контролю в соответствии с требованиями стандартов, применимых к фактическим рабочим условиям. Описание всех ступеней, которые должны быть выполнены при контроле	Составление процедур визуального контроля. Применяемые технические регламентирующие документы. Описание параметров, учитываемых при визуальном контроле
7.		Другие способы
		<ul style="list-style-type: none"> • Технология машинного зрения. • Термография. • Обработка изображения.

Уровень I	Уровень II (дополнительно к программе I уровня)	Уровень III (дополнительно к про- граммам I и II уровня)
8.	Другие методы неразрушающего контроля	
	Методы контроля верх- ностей	Анализ поломок
9.	Безопасность и защита окружающей среды	Квалификация и серти- фикация персонала
		Обучение, организация

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ландсберг Г.С. Оптика: учебное пособие для вузов. – 6-е изд., стереот. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 848-ISBN 5-9221-0314-8.
2. Неразрушающий контроль металлов и изделий: справочник / под ред. Г.С. Самойловича. – М.: Машиностроение, 1976. – 456 с.
3. Оптическая голография. Пер. с англ. / под ред. Г. Колфилда – М.: Мир, 1982. – Т. 2.
4. Неразрушающий контроль и диагностика: справочник / под ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение. 1995. – 488 с.
5. Хацевич Т.Н., Михайлов И.О. Эндоскопы: учебное пособие. – Новосибирск: СГГА, 2002. – 196 с.
6. Система видеоэндоскопа Everest XLGTM: руководство по эксплуатации // General Electric Company. – 2006. – 127 с.
7. MEIJI Techno. Микроскопия: каталог. 2008/2009.
8. РД 03-606-03 Инструкция по визуальному измерительному контролю. – М.: ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2003. – 61 с.
9. ГОСТ 24521-80 Контроль неразрушающий оптический. Термины и определения. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2005. – 6 с.
10. Технические эндоскопы – приборы для визуального контроля труднодоступных мест. Публикации НТЦ «Оптические системы контроля». Режим доступа: <http://www.endoscop.ru/> – Загл. с экрана.
11. Interim Guidelines for In Situ Visual Inspection of Inlet and Outlet Turbine Stage. Part 2: Experiences, Approaches and Improvements in Remote Visual Inspection. – USA, California: Electric Power Research Institute (EPRI), 2000.
12. Measurement Technologies. Remote Visual Inspection. – USA: General Electric Company, 2007.
13. Оборудование неразрушающего контроля: каталог. – М.: МЕГА Инжиниринг, 2008. – 112 с.
14. Кирилловский В.К. Оптические измерения. Часть 3. Функциональная схема оптических измерений. Типовые узлы. Оптические измерения геометрических параметров: учебное пособие. – СПб ГУИТМО, 2005. – 67 с.

15. Визуальный и измерительный контроль / под ред. В.В. Ключева. – М. РОНКТД, 1998.
16. Средства неразрушающего контроля. Режим доступа: [<http://ndt.by.ru/education/htm/01n0.htm>].
17. Оптика. Режим доступа: [<http://www.college.ru/physics/courses/op25part2/content/chapter3/section/paragraph1/theory.html>].
18. Узлы и системы волоконно-оптических эндоскопов: учебное пособие/ А.Б. Чигорко, А.А. Чигорко. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 134 с.

Учебное издание

КАЛИНИЧЕНКО Николай Петрович
КАЛИНИЧЕНКО Алексей Николаевич

ВИЗУАЛЬНЫЙ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ

**Учебное пособие
для подготовки специалистов
I, II и III уровня**

Издано в авторской редакции

Научный редактор
*доктор технических наук, профессор
О.А. Сидуленко*

Компьютерная верстка и дизайн обложки
О.Ю. Аршинова

Подписано к печати 29.12.2009. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».
Печать XEROX. Усл. печ. л. 17,45. Уч.-изд. л. 15,78.
Заказ 1200-10. Тираж 100 экз.



Томский политехнический университет
Система менеджмента качества

Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO 9001:2008

